

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Сергій ЖУК
«__» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Радіотехнічні інформаційні технології»

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Тиристорний регулятор напруги»

Виконав (-ла):
студент (-ка) II курсу, групи РТ-91мп
Іванечко Денис Миколайович _____

Керівник:
Доцент, к.т.н.
Піддубний Володимир Олексійович _____

Рецензент:
Доцент кафедри КіВРА, к.т.н.
Перегудов Сергій Миколайович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних пристроїв та систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіотехнічні інформаційні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__2__» вересня 2020р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Іванечко Денису Миколайовичу

1. Тема дисертації «Тиристорний регулятор напруги»

_____,
науковий керівник дисертації Піддубний Володимир Олексійович, к.т.н.,
доц.,
затверджені наказом по університету від «__05__» листопада 2020 р.
№ 3223-с
2. Термін подання студентом дисертації 14.12.2020 р.
3. Об'єкт дослідження Тиристорний регулятор напруги (віртуальна лабораторна робота з дисципліни «Елементна база радіоелектронної апаратури»)

4. Вихідні дані Розробити методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дослідження тиристорів та регулятора напруги побудованому на ньому. Вхідна напруга 220 вольт, змінна, частота 50 Гц. Останні параметри вибираються з умови зручності проведення лабораторної роботи.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд тиристорів та їх характеристик. 2. Способи управління тиристорами. 3. Вибір способу управління необхідного для вирішення поставленої задачі. 4. Розробка структурної схеми регулятора. 5. Розробка схеми віртуального макету. 6.

Дослідження схеми. 7. Розробка вказівок з виконання лабораторної роботи.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу електронна презентація (орієнтовно 12-15 слайдів)

7. Орієнтовний перелік публікацій (по можливості одна публікація)

8. Дата видачі завдання 2 вересня 2020р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд тиристорів та способів регулювання змінної напруги	02.09.2020 – 27.10.2020	
2.	Огляд технічних рішень регуляторів напруги	27.10.2020 – 17.11.2020	
3.	Розробка віртуального макету лабораторної роботи	17.11.2020 – 25.11.2020	
4.	Дослідження макету та розробка вказівок	25.11.2020 – 08.12.2020	
7.	Підготовка матеріалів до захисту	07.12.2020 – 14.12.2020	

Студент

Денис ІВАНЕЧКО

Науковий керівник

Володимир ПІДДУБНИЙ

Анотація

Обсяг пояснювальної записки магістерської дисертації становить 77 сторінок, які включають в себе 6 розділів, 37 ілюстрації, 11 таблиць, 3 додатки і 21 бібліографічне найменування за переліком джерел посилань.

Актуальність теми: Розробка та дослідження тиристорних регуляторів напруги в сучасну епоху повної електрифікації господарства має велике значення для створення регуляторів напруги для побутових та промислових приладів, які в своєму складі мають електродвигуни на 220/380 вольт, та широко використовуються в силовій електроніці. Тиристири відповідно до освітньої програми підготовки бакалаврів вивчаються в дисципліні «Елементна база радіоелектронної апаратури». Для їх вивчення відводиться достатньо малий час – 1 навчальна година лекцій. Лабораторні роботи з даної тематики в згадуваній дисципліні відсутні. Тому, особливо в період карантинних обмежень зв'язаних з розповсюдженням Covid 19 та переходом на дистанційне навчання, актуальним є розробка віртуальних лабораторних робіт.

Мета дослідження: розробити віртуальну лабораторну роботу з дослідження тиристорів та регуляторів напруги побудованих на їх основі, створити методичні вказівки для виконання роботи та провести віртуальне дослідження розробленого макету.

Об'єкт дослідження: лабораторний макет для дослідження принципів управління напругою та тиристорного регулятора напруги 220/380 вольт.

Предмет дослідження: простота реалізації роботи в віртуальному середовищі, можливості регулювання вихідної напруги, особливості фазового методу регулювання та доступність повторення віртуального макету на фізичній основі.

Новизна одержаних результатів: розроблено віртуальну лабораторну роботу з можливістю фізичного повторення, яка підвищить якість підготовки спеціалістів радіотехніків, дозволить більш якісно та ефективно сприйняти матеріал лекцій з розділу «Тиристири».

Публікації:

Піддубний В.О., Іванечко Д.М. Віртуальні лабораторні роботи в умовах дистанційного навчання/ Розвиток освіти, науки та бізнесу: результати 2020: тези доп. Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 грудня 2020 р. – Дніпро, 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.wayscience.com/konferentsiya-03-04-grudnya-2020/>

Матеріали будуть включені в методичні рекомендації до online виконання лабораторних робіт з дисциплін «Елементна база РЕА» та «Компонентна база РЕС», які планується ввести в дистанційне навчання в системі Moodle. Посилання на дисципліни – <http://iot.kpi.ua/lms/>

Ключові слова: ФАЗОВИЙ МЕТОД УПРАВЛІННЯ, ТИРИСТОРИ, КОНСТРУКЦІЯ ТИРИСТОРІВ, ВОЛЬТАМПЕРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИРИСТОРІВ, ТИРИСТОРНІ РЕГУЛЯТОРИ НАПРУГИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТИРИСТОРНИХ РЕГУЛЯТОРІВ.

Annotation

The volume of the Master's Thesis Explanatory Note is 77 pages, which include 6 sections, 37 illustrations, 11 tables, 3 appendices, and 21 of bibliographic titles by reference list.

The relevance of the topic: development and research of тиристорных vrs in the modern epoch of complete electrification of economy matter very much for creation of vrs for domestic and industrial devices that in the composition have electric motors on a 220/380 volt, and widely used in power electronics. Thyristors in accordance with the educational program of preparation of bachelors are studied in disciplines the "Element base of radio electronic apparatus". For a ix study small enough time is taken - 1 educational hour lectures. Laboratory works on this subjects in the mentioned discipline are absent. To Tom, especially in the period of quarantine об-межень related to distribution of Covid 19 and passing to the controlled from distance studies, actual there is development of virtual laboratory works.

Purpose of the study: to work out virtual laboratory work from research of thyristors and vrs of built on their basis, to create the methodical pointing for implementation of work and undertake a virtual study of the worked out layout.

Object of study: laboratory layout for research of principles of management and тиристорного vr tension a 220/380 volt.

Novelty of the obtained results: the virtual laboratory is worked out works with possibility of physical reiteration, that will improve quality preparation of specialists of radiotricians, will allow more qualitatively and effectively to perceive material of lectures on a division the " THYRISTORS".

Keywords: PHASE METHOD OF MANAGEMENT, THYRISTORS, CONSTRUCTION OF THYRISTORS, VOLT-AMPERE DESCRIPTIONS OF THYRISTORS, THYRISTORS VRS, METHODS OF RESEARCH OF REGULATORS.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до магістерської дисертації

на тему: Тиристорний регулятор напруги

Київ — 2020 рік

ЗМІСТ

Зміст	5
Перелік скорочень	8
Вступ	9
1 ВИБІР ПРОГРАМНОГО МЕТОДУ САПР	11
1.1 Порівняльний аналіз програмних пакетів	11
1.2 Вибір пакету САПР для виконання роботи.....	12
1.3 Огляд відомих лабораторних робіт	13
1.4 Висновки за розділом	14
2 РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	15
2.1 Теоретичні відомості про тиристори.....	15
2.2 Імпульсне перемикання тиристорів.....	26
2.3 Характеристики і параметри тиристора	27
2.4 Методи управління тиристорами	28
2.5 Відомі варіанти лабораторної роботи..	32
2.6 Структурна схема регулятора напруги.....	32
2.7. Розробка схеми електричної принципової	33
2.7.1. Схема регулятора.....	33
2.7.2. Вибір елементної бази.....	34
2.8. Висновки за розділом	35
3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВИКОНАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРА	36
3.1 Мета і зміст роботи.....	36
3.2 Порядок виконання роботи	39
3.3 Зміст звіту	44
3.4 Висновки за розділом	45
4 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОГО АНАЛОГУ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	46
4.1 Конструкція електронного блоку макету	46

4.2 Друкована плата макету	47
4.3 Моделювання електронного регулятора	48
4.4 Висновки за розділом	50
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ	51
5.1 Обґрунтування сутності стартап проєкту	51
5.2 Аналіз ринкових можливостей	52
5.3 Фінансування проєкту	58
5.4 Висновки за розділом	58
6 Висновки	59
Перелік джерел посилань	60
Додаток А	64
Додаток Б	73
Додаток В	75

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

РЕА – радіоелектронна апаратура

РЕЗ – радіоелектронні засоби

РЕС – радіоелектронні системи

ДСТУ – державний стандарт України

ВСТУП

В даний час, особливо в умовах карантину, суттєво змінюється роль комп'ютерних засобів в навчанні: із засобу, використовуваного лише на заняттях з інформатики, комп'ютер перетворився в діяльного помічника викладача на лекціях, семінарах, і особливо лабораторних роботах. Особливо складним є проведення лабораторних робіт з технічних дисциплін, що потребують фізичних макетів, і в зв'язку з online навчанням потребують їх переведення в віртуальну площину.

Форми застосування інформаційних технологій в навчанні залежать від специфіки конкретної дисципліни, а також від рівня технічної і програмної підтримки курсу. Одним з видів програмних засобів використовуваних при підготовці інженерних кадрів з різних спеціальностей є імітаційно-моделюючі програмні засоби, в основі яких лежить віртуальна лабораторія.

Віртуальна лабораторія – це комплекс програм та програмно-апаратних засобів, що дозволяють проводити експериментальні дослідження повністю або частково на математичній моделі. Поєднання віртуальної і реальної дійсності змушує студентів активно застосовувати науково-технічну та довідкову літературу, вимагає самостійного мислення та прийняття рішень, стимулює їх до самоосвіти. Моделювання радіоелектронних пристроїв та систем, візуалізація та аналіз отриманих результатів дозволяє краще розуміти принципи функціонування електронних приладів, методів управління і контролю процесами, що відбуваються в РЕС. Віртуальні дослідження доповнюють та розширюють реальні фізичні експерименти, дозволяють проводити дослідження, які дуже важко провести на фізичних макетах та пов'язані з розглядом критичних ситуацій, які можуть привести до виходу з ладу дороговартісних складових, та неприпустимі при натурних випробуваннях пристроїв. Віртуальна лабораторія дозволяє швидко реагувати на зміну елементної бази завдяки її доступності через Інтернет, широко використовувати її моделі, дає можливість застосовувати в дослідженнях найсучасніші її досягнення.

Зараз широке поширення одержало комп'ютерне моделювання та аналіз схем електронних пристроїв за допомогою різних прикладних програм, таких як DesignLab, APLAC, P-Spice, Micro-Logic, LabVIEW, NI Multisim, Proteus та ін.

Лабораторні роботи, як правило, проводяться на фізичних макетах. Їх корисність і необхідність незаперечні. Вони дозволяють студентам детально ознайомитися з досліджуваними об'єктами, приладами, за допомогою яких проводиться дослідження, та методикою проведення досліджень, яка описана в супровідних матеріалах. Проте реальні лабораторні макети мають ряд обмежень. Перш за все, вони не достатньо універсальні, не мінімізовані і їх кількість в лабораторії обмежена, що призводить до складностей в одночасному проведенні конкретної роботи. Від цих недоліків позбавлені віртуальні лабораторні роботи, які можна проводити одночасно зі всіма студентами на персональних комп'ютерах самих студентів в чітко окресленому часовому терміні, наприклад в системі Moodle. Це дозволяє ефективно проводити роботи в дистанційному режимі.

Тому створення і використання комп'ютерних моделей лабораторних робіт (віртуальних лабораторних робіт) вільних від вищевказаних недоліків, властивих реальним лабораторним установам є актуальною задачею. Наявність реальної лабораторної бази при проведенні offline занять буде суттєво доповнювати проведення віртуальних робіт в режимі дистанційного навчання. В цьому випадку при проведенні дистанційних курсів, останні можна ознайомлення з реальними приладами.

Дана магістерська дисертація присвячена розробці методичних рекомендацій до проведення віртуальних лабораторних робіт з дисциплін «Елементна база РЕА» та «Компонентна база РЕЗ», розділ «Чотиришарові перемикальні прилади». При розробці лабораторних робіт застосовується поширений програмний пакет Multisim (версія 12), який дозволяє не тільки моделювати електронні схеми, а й використовувати віртуальні прилади (осцилограф, мультиметр, тестовий генератор та інше для дослідження режимів роботи електронних схем будь-якої складності).

1 ВИБІР ПРОГРАМНОГО МЕТОДУ САПР

1.1 Порівняльний аналіз програмних пакетів

Для дослідження і проектування електронних схем, моделювання різних складових радіоелектронної апаратури добре зарекомендували себе прикладні пакети в основі яких використовуються пакети прикладних програм Pspice, OrCAD, Realise DesignLab, Circuit Market. Найбільш поширеними серед віртуальних лабораторій є пакети Matlab, Mathcad, Multisim (Electronics Workbench), LabVIEW та інші. Вони в основному використовуються розробниками РЕА. Однак їх можна успішно використовувати в навчальному процесі для створення віртуальних лабораторій, які дозволяють студентам ознайомитися та дослідити різні радіоелектронні компоненти та схеми зібрані на них, навчитися їх досліджувати і таким чином отримувати навички в проектуванні електронних схем на основі сучасних елементів та компонентів, склад яких в сучасних умовах постійно змінюється та вдосконалюється. Концепція віртуальних лабораторій орієнтована на реалізацію вимог до комп'ютеризації інженерної підготовки, відповідає ідеям відкритого і дистанційного навчання. Вона дозволяє, хоча б частково, зменшити гостроту існуючих нині проблем матеріальнотехнічного забезпечення навчального процесу [7].

Застосування комп'ютерних технологій в навчальному процесі, у тому числі і при вивченні електроніки, дозволяє більш ефективно донести до студентів нові знання, надати їм додаткові компетенції і тим самим підвищити якість підготовки фахівців.

Для моделювання радіоелектронних схем та процесів, що в них відбуваються, використовуються математичні програми, які можна розділити на дві основні:

- Multisim – система схемотехнічного моделювання, MicroCAP – універсальний пакет програм схемотехнічного аналізу та інші.

Система схемотехнічного моделювання Multisim призначена для моделювання та аналізу радіоелектричних схем різного ступеню складності.

Програма Multisim моделює аналогові, цифрові та цифро-аналогові електронні схеми. Бібліотеки, що використовуються в програмі, мають великий набір найбільш поширених радіоелектронних компонентів, що використовуються на даний момент у сучасній електроніці. Крім того користувачі можуть змінювати та доповнювати базу даних в залежності від своїх потреб, підключати та створювати власні бібліотеки компонентів.

1.2 Вибір пакету САПР для виконання роботи

Аналіз вище розглянутих програмних пакетів дозволяє вибрати програмний пакет Multisim від компанії Electronics Workbench, в якому і будемо моделювати електричні принципові схеми макету.

Використання Multisim дозволить розробляти схеми та тестувати їх в одному і тому самому середовищі, яке легко засвоюється новачками і дозволяє самостійно без додаткових великих зусиль здійснювати моделювання та дослідження електронних схем.

Завдяки використанню Multisim опис схеми буде простим і інтуїтивно зрозумілим. А безрежимне редагування надасть переваги для ефективного розміщення та з'єднання компонентів. Студентам, які будуть у майбутньому виконувати лабораторні роботи у даній програмі, працювати з аналоговими і цифровими складовими елементами буде просто та інтуїтивно зрозуміло, що робити далі зі схемою.

Для більш складного аналізу пакет програмного забезпечення Multisim пропонує достатню кількість (більше 15 різних функцій аналізу, таких як аналіз Фур'є, аналіз роботи зі змінним струмом, аналіз роботи в межевих, несприятливих умовах) необхідних для більш детального розгляду електронних пристроїв, що проектуються. Функції опису та тестування схем, представлені в Multisim, допоможуть як студентам, так і професійним розробникам, заощадити час та убезпечать від помилок на шляху розробки схеми та збережуть велику кількість не спалених електрорадіоелементів.

1.3 Огляд відомих лабораторних робіт

Відома достатня кількість лабораторних робіт для студентів ВНЗ присвячених дослідженню багатоперехідних напівпровідникових структур (тиристорів). Це наступні роботи [1-6], в яких розглядаються вольт-амперні характеристики транзисторів, методика вивчення їх параметрів та принципи побудови регуляторів напруги на їх основі. В них розглядаються теоретичні питання роботи та управління тиристорами, наводяться досліджувані характеристики та методика виконання робіт. Однак всі вони виконуються на фізичних макетах та потребують безпосередньої роботи студента в лабораторії.

Відомі також і віртуальні макети. Так в [7] приводяться віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень, розроблені в Кременчуцькому державному політехнічному університеті ім. М. Остроградського. В них розроблений комплекс, що складається з реального обладнання і програмної апаратної підтримки (пакет LabVIEW), призначений для діагностики електричних двигунів в умовах експлуатації в цеху 12 АТ "Укртатнафта". Однак до задач вивчення та розробки радіоелектронних схем він має опосередковане відношення і не може на пряму бути використаний для підготовки спеціалістів в галузі телекомунікацій та радіотехніки.

В [8,9] приводиться теоретичний матеріал і методичне забезпечення для виконання лабораторних робіт з дослідження напівпровідникових приладів (діодів, стабілітронів, біполярних та польових транзисторів, тиристорів то що) та електронних пристроїв (підсилювачів електричних сигналів, генераторів гармонійних коливань та імпульсних сигналів, випрямлячів, згладжувальних фільтрів, стабілізаторів напруги та інше). Запропоновані роботи виконуються в програмі Multisim версій 10 та 12. Схожі роботи також виконуються в середовищі Workbench, як наприклад в [10]. Розглянуті роботи в основному задовольняють навчальні меті. Однак існує необхідність створення подібних робіт в умовах дистанційного функціонування в умовах кафедри радіотехнічних пристроїв та систем радіотехнічного факультету

НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Інструментом для виконання завдання поставленого в дисертаційній роботі буде пакет прикладних програм для віртуальної лабораторії з дослідження електронних схем розроблений Multisim National Instruments.

1.4 Висновки за розділом

У даному розділі коротко розглянуті програмні пакети для створення радіоелектронних схем. Наводяться основні програми та вказуються їх особливості. Проведений аналіз сучасних методів проєтування та особливості віртуальних лабораторій. Наведено їх порівняльні характеристики, переваги та недоліки. Показано, що як основний інструментарій для створення віртуальної лабораторної роботи з дослідження тиристорів найбільш підходить програма Multisim, яка є однією з найбільш відомих і функціональних та може бути дуже легко використана студентами самостійно.

2 РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

2.1 Теоретичні відомості про тиристори

Тиристори – це багатоперехідні структури, які на відміну від діодів, що мають один *p-n* перехід (діодів) в силовій електроніці знаходять застосування прилади з більшою кількістю *p-n* переходів (тиристори, або перемикальні діоди).

Тиристор – це перемикальний НП прилад, який має три або більше *p-n* переходи та два стійких стани: *закрито*, коли через нього протікає малий струм, і *відкрито* – коли протікає значний струм.

Перевагами тиристорів над транзисторними ключами є:

- Великий коефіцієнт підсилення за струмом (незначний струм керування управляє великим струмом).
- Значно більші значення струму та напруги.
- Висока надійність та простота керування.

Основу тиристора складає пластинка з монокристалу кремнію з областями *p*- і *n*-типу, які чергуються між собою. Типи тиристорів наведені на рис.10.1.

Предмет дослідження: простота реалізації роботи в віртуальному середовищі, можливості регулювання вихідної напруги, особливості фазового методу регулювання та доступність повторення віртуального макету на фізичній основі.

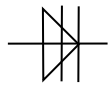
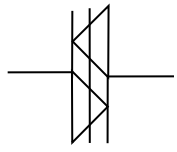
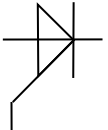
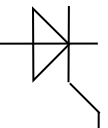
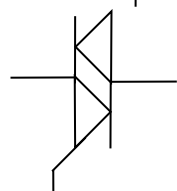
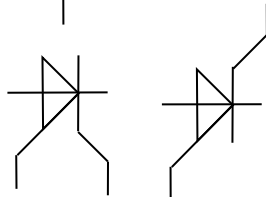
1. Діодний тиристор (динистор)	
2. Діодний симетричний тиристор (симістор)	
3. Тріодний тиристор (триністор) з керуванням за анодом	
4. Тріодний тиристор (триністор) з керуванням за катодом	
5. Тріодний симетричний тиристор (симістор)	
6. Тетродний тиристор (тріака)	

Рисунок 2.1 – Класифікація і позначення тиристорів середньої і малої потужності

Крайні області пластини є основними електродами: область *p*-типу – анод (А), область *n*-типу – катод (К).

Анод і катод тиристора мають відводи. Такий тиристор (з двома відводами) називають динистором або некерованим перемикальним діодом.

Крім того, відвід у тиристора може бути і від внутрішньої області. Цей відвід називається електродом управління (керівним електродом). При наявності відводу від внутрішніх областей, тиристор називається тріодним або тринистором (керуємим перемикальним діодом).

Тиристор, що має чотири виводи називається тріаком.

Тиристори можуть бути малої потужності ($I_{пр} \leq 0,3$ А), середньої потужності ($0,3 \text{ А} < I_{пр} < 10$ А) і великої потужності ($I_{пр} > 10$ А).

Тиристори мають S-подібну характеристику, яка для різних типів тиристорів приведена на рис.2.2 – рис.2.5.

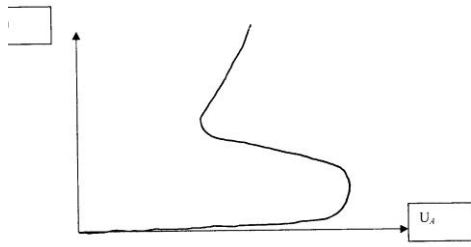


Рисунок 2.2 – ВАХ династора

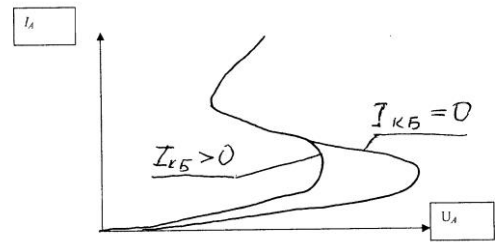


Рисунок 2.3 – ВАХ тиристора

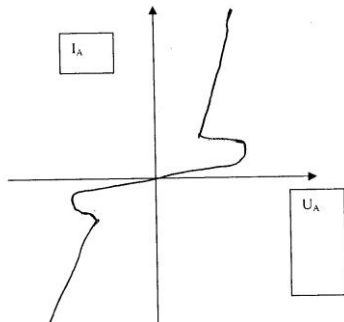


Рисунок 2.4 – ВАХ симістора

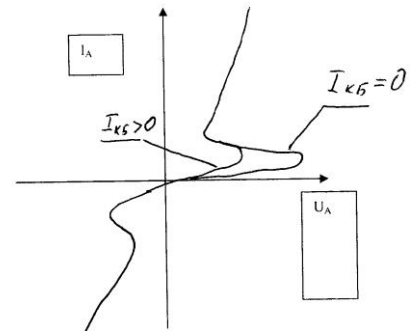


Рисунок 2.5 – ВАХ тріака

Тиристори великої потужності називаються силовими і мають в позначенні букви *T* – тиристор або *ТС* – симистор.

Наприклад, позначення *ТС-2-25-16* означає: симистор, модель – 2, $I_{\text{макс}}=25$ А, $U_{\text{макс}}=1000$ В.

Силові тиристори випускаються на струми до 2000 А і напруги до 3 кВ

Структура тиристора

Крайні переходи тиристорної структури з електродам управління називаються емітерними ЕП1, ЕП2, середній – колекторний КП, внутрішні області між переходами – базами, а крайні області – емітерами (рис.2.6 а).

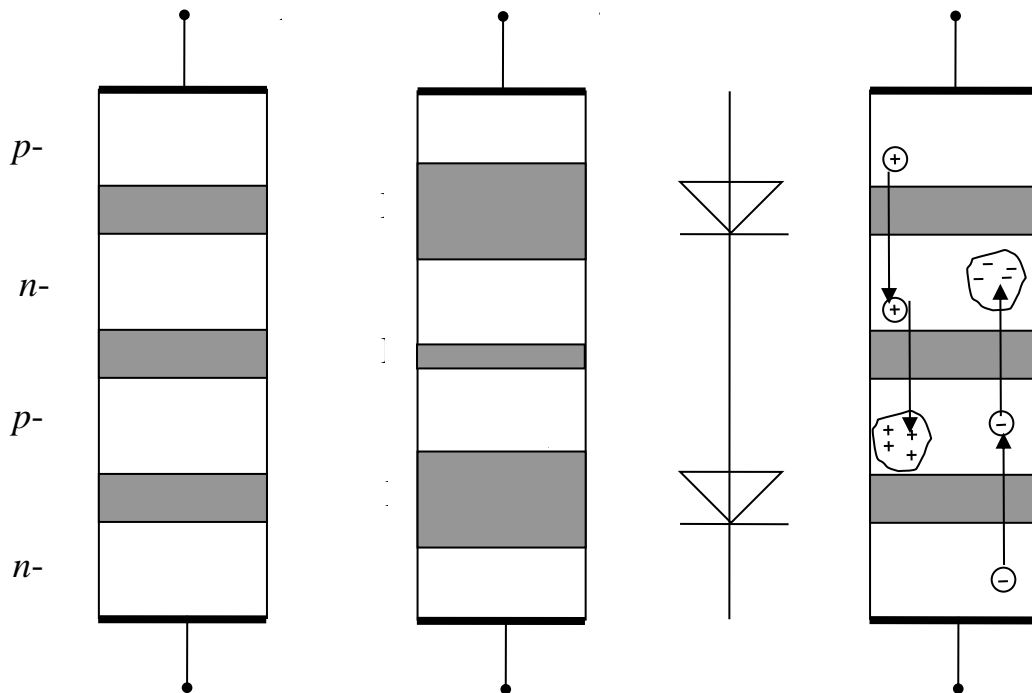


Рисунок 2.6 – Структура тиристора:

a – якщо $U_A=0$; *б* – якщо $U_A<0$; *в* – якщо $U_A>0$

Вольт-амперна характеристика тиристора показана на рис. 2.7.

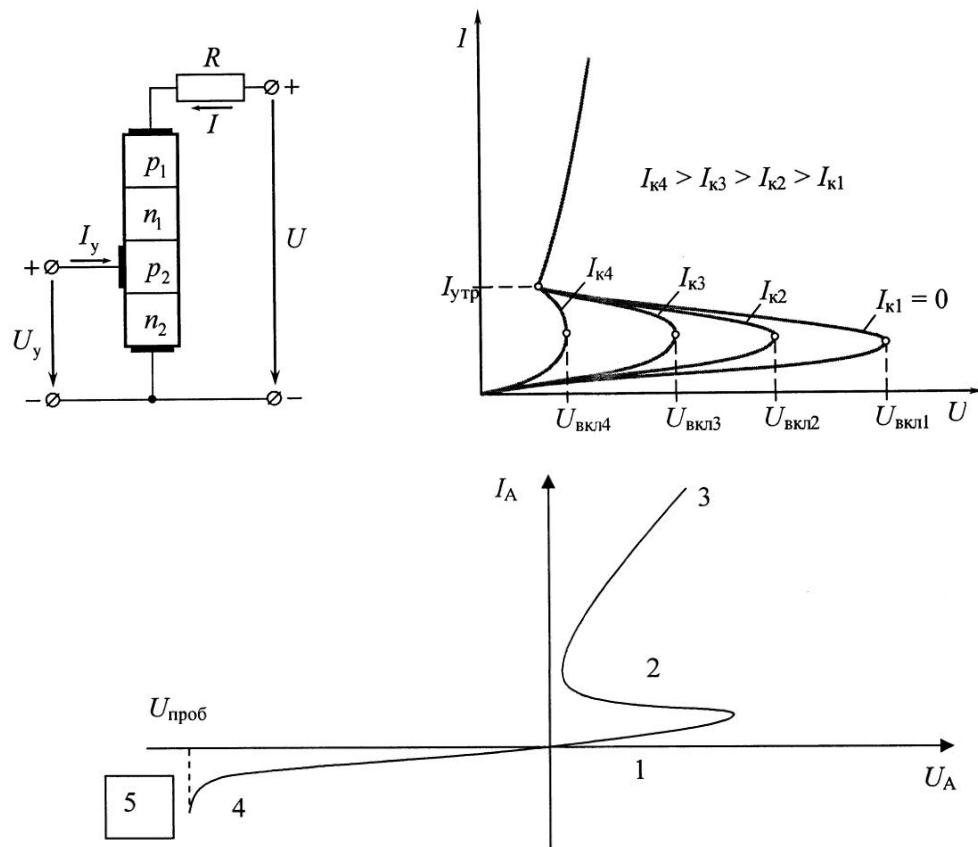


Рисунок 2.7 – Вольт-амперна характеристика тиристора

Вона складається з п'яти ділянок.

Ділянка 1 – непровідний прямий стан або стан прямого замикання. Закінчується тоді, коли вмикається тиристор. Характеризується струмом вмикання - $I_{ВМК}$.

Ділянка 2 – нестабільний стан, який тиристор миттєво проходить. Характеризується струмом утримання $I_{УТР}$, мінімальним струмом відкритого тиристора, та та напругою відкритого тиристора $U_{ВІДКР}$, значення якої лежить в межах $1 \dots 1,5$ В.

Ділянка 3 – відкритий стан тиристора або стан прямої провідності. Струм сягає до $10 \dots 200$ А. Якщо збільшувати напругу далі то може наступити тепловий пробій.

Ділянка 4 – режим зворотного замикання. Це непровідний стан тиристора.

Ділянка 5 – область зворотного пробою тиристора.

Принцип роботи тиристора

З подачею від'ємної напруги на анод тиристора відносно катода його колекторний перехід КП зміщується в прямому напрямі, а обидва емітерних переходи ЕП – в зворотньому. ВАХ тиристора в цьому режимі є характеристикою двох послідовно з'єднаних електронно-діркових переходів (емітерних), підключених в зворотньому напрямі (ділянка 4).

Струм через тиристор буде невеликим: він визначається процесами екстракції і термогенерації неосновних носіїв заряду в цих переходах. При напрузі $U_{проб}$ виникає пробій емітерних переходів і струм тиристора різко зростає – тиристор виходить з ладу.

При прямій напрузі U_A (“+” – до аноду, “ – “ – до катода) ширина емітерних переходів зменшується, а колекторного переходу – збільшується.

Якщо прикладена напруга U_A мала, електрони і дірки, потрапивши в результаті інжекції відповідно в p - і n -бази і, ставши неосновними носіями заряду, рекомбінують. В цьому випадку, провідність тиристора буде малою (струм через тиристор – малий).

При збільшенні напруги U_A збільшується пряма напруга на ЕП1 і ЕП2, а, відповідно, і інжекція. Кількість носіїв заряду, що поступає в бази з емітерів за одиницю часу виявляється більшою кількості зарядів, які рекомбінують в базах.

В результаті цього дірки з p -емітера через КП (він для них не являється потенційним бар'єром) потрапляють в p -базу, а електрони з n -емітера – в n -базу. В n -базі утворюється нерівноважний заряд електронів, а в p -базі – заряд дірок. Ці заряди підсилюють інжекцію дірок p -емітера і електронів n -емітера, що призводить до збільшення незрівноважених позитивних зарядів в p -базі і негативних – в n -базі і т.д.

Виникає лавиноподібний процес, який призводить до появи прямої напруги на КП за рахунок компенсації позитивного поля анода негативним полем збільшеного заряду n -бази, а також компенсації негативного поля катода позитивним полем збільшеного заряду p -бази. Ці явища відбуваються миттєво (стрибком). Пряма напруга на КП стрибком зменшує опір тиристора, при цьому зменшується падіння напруги на ньому і різко збільшується струм I_A .

Анодний струм буде складатися із трьох компонентів:

- діркового струму p -емітера – $\alpha_1 I_A$; α_1 – коефіцієнт передачі струму ЕП1 ($p-n$);
- електронного струму n -емітера – $\alpha_2 I_A$; α_2 – коефіцієнт передачі струму ЕП2 ($n-p$);
- зворотнього струму КП – $I_{\text{звор}} = I_{\text{КБ01}} + I_{\text{КБ02}}$.

Коефіцієнти передачі струму α_1 і α_2 суттєво залежать від струму емітера (рис. 2.8).

$$I_A = \alpha_1 I_A + \alpha_2 I_A + I_{\text{звор}}$$

$$I_A = \frac{I_{звор}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

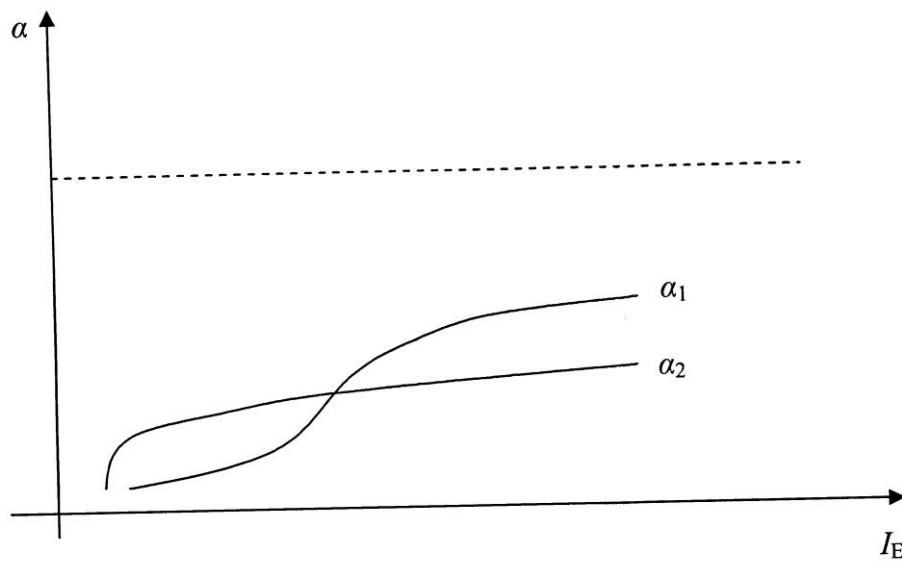


Рисунок 2.8 – Залежність коефіцієнту α від струму I_E

При малих струмах емітера, що має місце при малих напругах U_A

$$\alpha_1 + \alpha_2 \ll 1$$

$$I_A \approx I_{звор}$$

і тиристор закритий. Струм анода, визначений власним зворотним струмом колекторного переходу – малий.

З підвищенням напруги $U_A \rightarrow U_{ВМ}$ струм I_E зростає, що призводить до зростання коефіцієнтів α_1 і α_2

$$\alpha_1 + \alpha_2 \rightarrow 1$$

При цьому різко зростає струм I_A .

Схему підключення диністора наведено на рис. 2.9.

Струм I_A буде визначатися опором навантаження і напругою джерела живлення E і може бути знайденою із формули

$$U = E - I_A R_H$$

$$I_A = \frac{E - U}{R_H}$$

де U – падіння напруги на тиристорі.

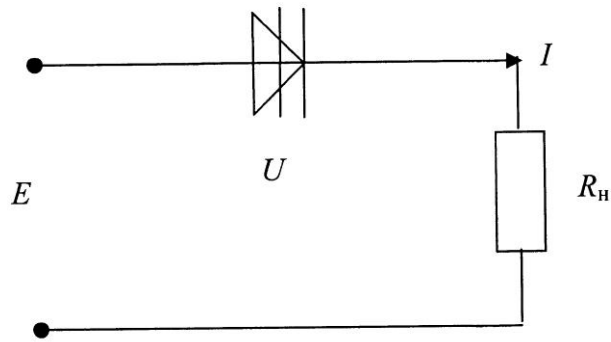


Рисунок 2.9 – Схема підключення диністора

Падіння напруги на відкритому НП приладі мале (близько 1 В), тому струм при заданому E буде визначатися опором навантаження

$$I_A = \frac{E}{R_n}$$

Таким чином, тиристор є ключовим приладом, що має два сталих стани: „відкрито” – ділянка 3, і „закрито” – ділянка 1 (рис.2.7).

Тиристор з керуючим електродом можна розглядати, як ввімкнення двох транзисторів р-п-р та п-р-п типів (рис.2.10).

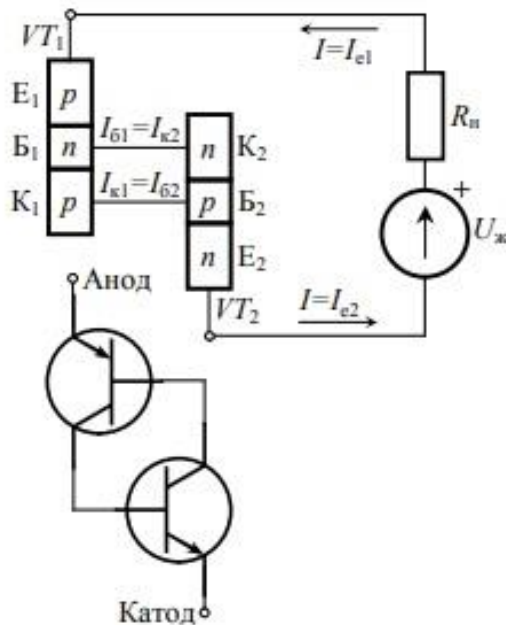


Рисунок 2.10 – Двотранзисторна модель тиристора

Тиристри з керівним переходом (триністри) полегшують його

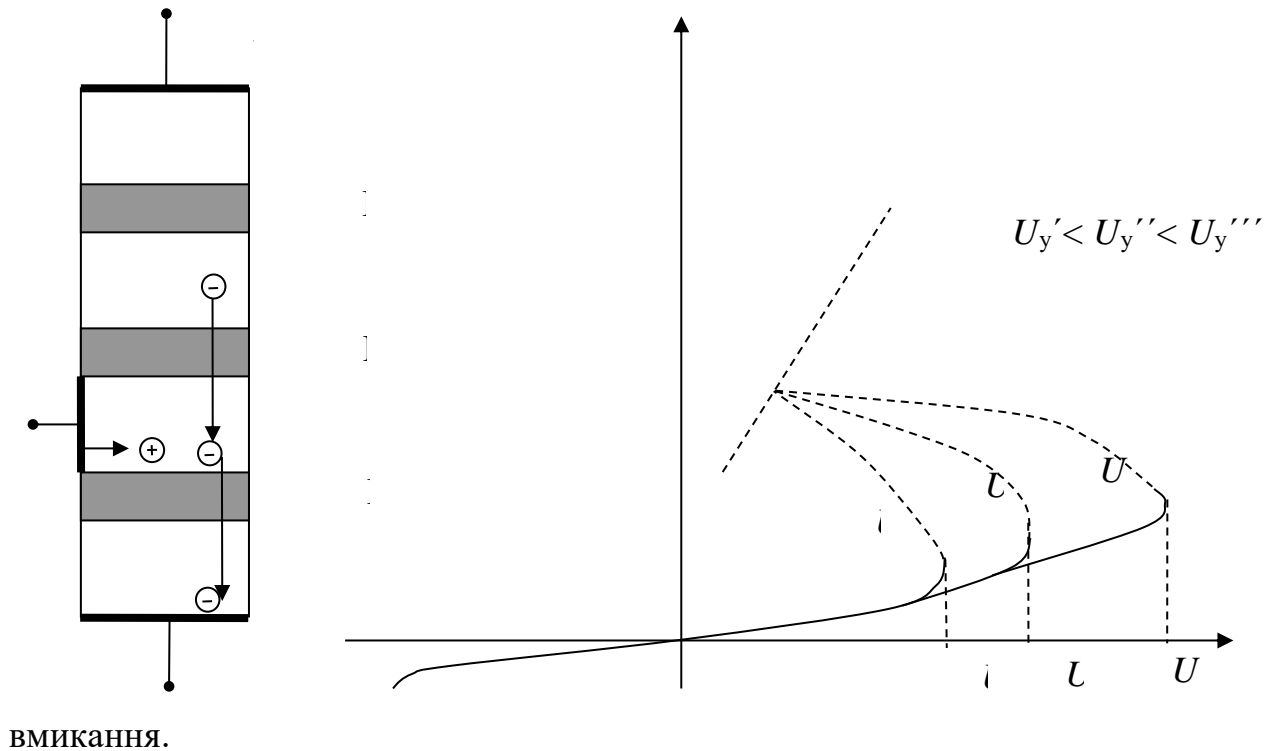


Рисунок 2.11 – Структура триністора і його вольт-амперні характеристики.

За допомогою керівного електроду шляхом подачі на нього прямої (позитивної відносно катода) напруги в p -базу вводяться незрівноважені дірки. При цьому збільшується інжекція електронів через ЕП2, а отже більша кількість електронів пройде через КП і коефіцієнт передачі α_1 зросте і при меншому U_A досягнеться співвідношення $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, що призводить до вмикання тиристора.

До переваг тиристора відносять:

- високий коефіцієнт підсилення за потужністю - $10^4 \dots 10^5$. Це пов'язано з незначною потужністю, що витрачається в ланцюгу керування, порівняно з потужністю, що виділяється в анодному ланцюзі;
- можливість керування вмиканням тиристора напругою на керівному електроді: чим більша напруга на керівному електроді, тим менша напруга вмикання. В цьому випадку вмикання тиристора відбувається при меншій анодній напрузі U_A .

Таким чином, тиристор можна вмикати за анодом і за керівним електродом.

Режим перемикування динистора

Схема ввімкнення динистора показана на рис.2.12.

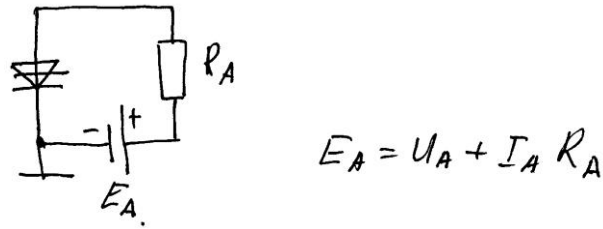


Рисунок 2.12 – Схема ввімкнення динистора

Анодна напруга E_A та резистор R_A задають режим роботи анодного кола динистора. $E_A = U_A + I_A R_A$. Див рис. 2.13.

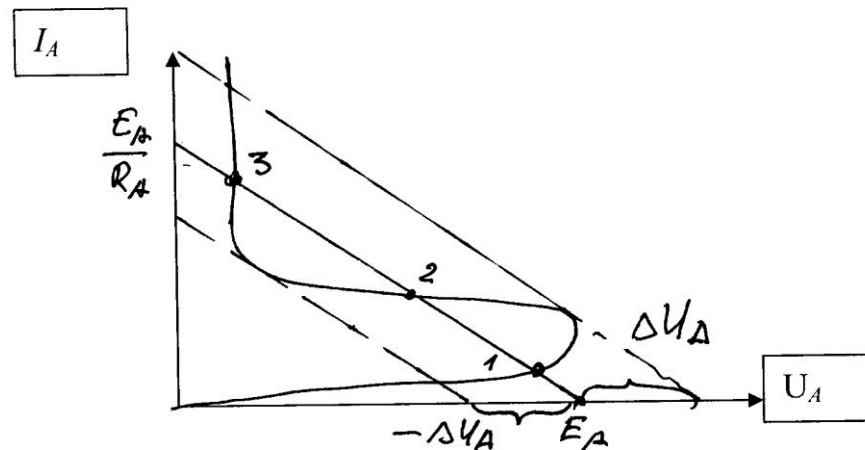


Рисунок 2.13 – Динамічна вихідна вольт-амперна характеристика динистора.

Робоча точка знаходиться в точці 1. $U_{ВМК} > U_A$ – динистор закритий, через нього протікає малий струм. Збільшуємо U_A . Переміщуємо робочу точку до точки контакту кривих, тобто зробимо $E_A > U_{ВМК}$. Робоча точка переміститься в точку 3 і буде там поки є ΔU_A .

Закрити динистор можна зменшуючи U_A так, щоб знову не було перетину. Закриття відбудеться коли U_A досягне значення $U_{ВІДКР}$. Тобто вимкнути динистор можна розімкнувши анодне коло.

Режим перемикування тиристора з керівним електродом (триністора)

Схема ввімкнення тиристора з керівним колом показана на рис.2.14.

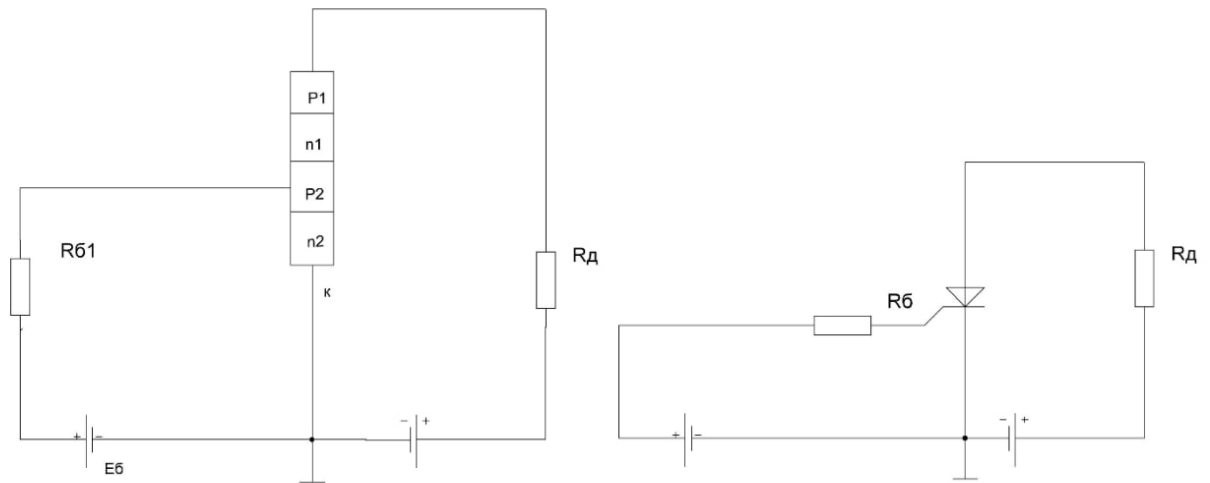


Рисунок 2.14 – Схема ввімкнення тиристора

За допомогою керівного електрода шляхом подачі на нього прямої (позитивної відносно катода) напруги в p -базу вводяться незрівноважені дірки. Струм бази визначається

$$I_B = \frac{E_B - U_{EBПЗ}}{R_B} \approx \frac{E_B}{R_B}$$

Динамічні ВАХ режиму перемикання показані на рис. 2.15 .

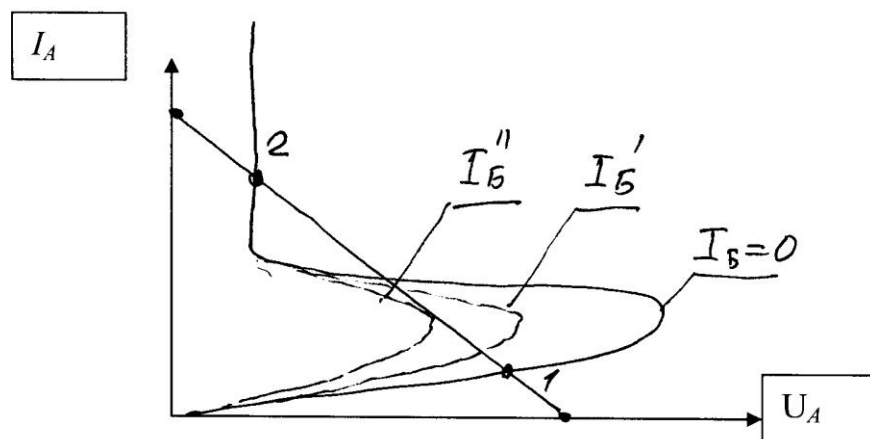


Рисунок 2.15 – Динамічна вихідна вольт-амперна характеристика тиристора.

2.2 Імпульсне перемикання тиристорів

Відбувається за допомогою імпульсів, що подаються на анод або керівний електрод. З подачею імпульсу починається заряд ємностей переходів, нагромадження носіїв в базі, і струм I_A буде наростати постійно впродовж часу $t_{\text{вм}}$, після закінчення імпульсу струм зменшується за час $t_{\text{вим}}$.

Процес вмикання і вимикання тиристора відбувається за певний час, пов'язаний з нагромадженням і розсмоктуванням нерівноважного заряду в базі. Цей час обмежує частотний діапазон тиристорів (до 25 кГц).

Імпульсне перемикання тиристора може здійснюватися як за анодом та і за електродом управління.

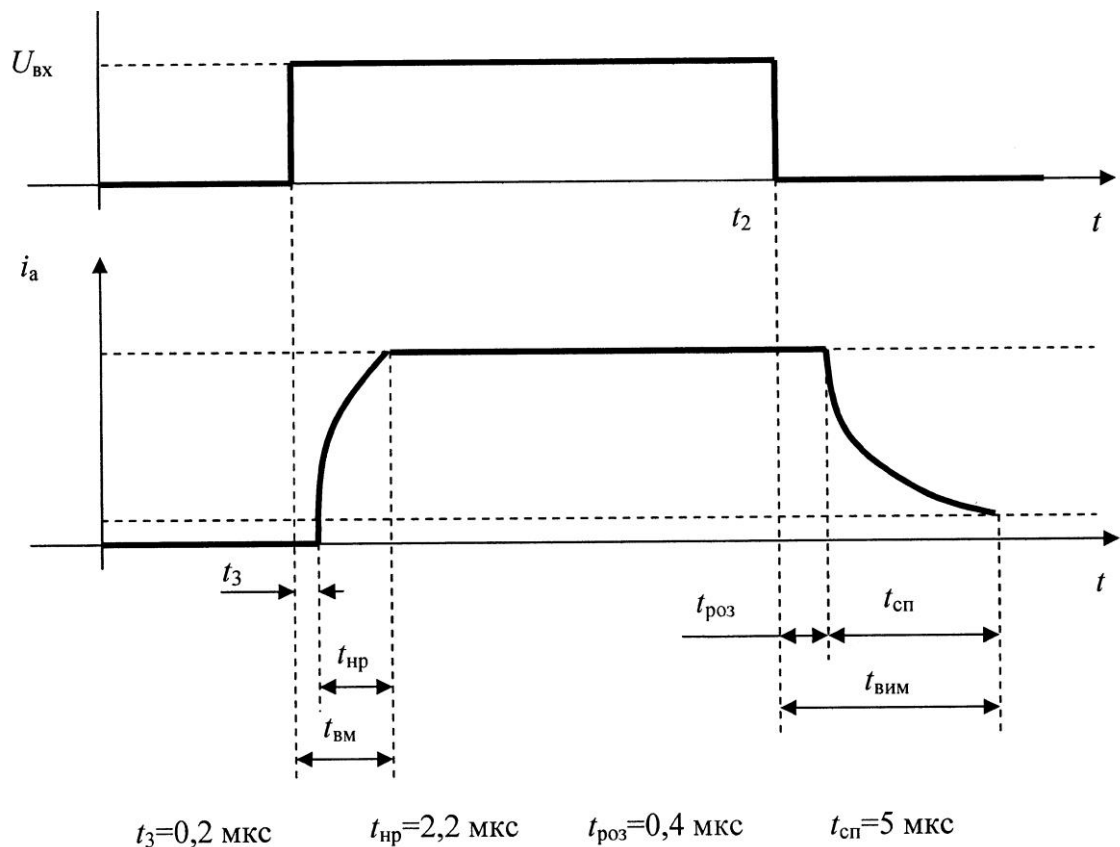


Рисунок 2.16 – Осцилограма перемикання тиристорів.

З ростом $U_{\text{вх}}$ збільшується швидкість інжекції і ступінь насиченості баз носіями заряду, що призводить до зменшення часу затримки і нарощування і до збільшення часу розсмоктування. Час спаду від напруги $U_{\text{вх}}$ не залежить.

При імпульсному вмиканні тиристора по електроду управління необхідно мати на увазі, що відкриття його спочатку відбувається лише в

вузькому каналі поблизу керуючого електроду, тобто спочатку інжекція носіїв заряду з емітера відбувається лише біля керівного електроду. Потім внаслідок дифузії носіїв заряду канал поступово розширюється і охоплює всю площу переходу.

Цей ефект може призвести до локального перегріву кристала і виходу тиристора з ладу. Тому допустима швидкість нарощування струму аноду $\frac{di_A}{dt}$ обмежується у тиристорах технічними умовами. Відповідно обмежується і частота перемикання.

Зі збільшенням струму $I_{кер}$ зростає час затримки $t_{зт}$ та нарощування $t_{нр}$, зменшується час розсмоктування $t_{роз}$ та спаду $t_{сп}$.

2.3 Характеристики і параметри тиристора

Характеристиками тиристора є

- вихідна $I_A=f(U_a)$ при $I_y=const$,
- вхідна $I_y=f(U_y)$ при $I_A=const$.

Вихідна характеристика розглянута раніше. За вихідною характеристикою можна визначити його параметри:

- Напругу $U_{ВМК}$ – анодна напруга, за якої тиристор переходить із режиму „закрито” до режиму „відкрито”. Як було визначено раніше, ця напруга залежить від напруги керування U_y . Чим більша напруга U_y , тим менша напруга $U_{ВМК}$. Цій напрузі відповідає струм $I_{ВМК}$.

- Утримуючий струм ($I_{ут. \text{мін.}}$) – мінімальний струм, необхідний для утримання транзистора у відкритому стані.

- Падіння напруги на тиристорі у відкритому стані ($U_{відкр}$) при заданому струмі I_1 .

- Напруга відкриття ($U_{y \text{ відкр}}$) і струм відкриття ($I_{y \text{ відкр}}$) керуючого електрода.

- $U_{звор \text{ макс}}, I_{звор \text{ макс}}, P_{\text{макс}}, I_{відкр \text{ макс}}, U_{відкр \text{ макс}}$.

Окрім того, до параметрів тиристора відносяться:

- час вмикання, $t_{вм}$;
- час вимикання, $t_{вим}$;

- максимальна частота, $f_{\text{макс}} = \frac{1}{t_{\text{вм}} + t_{\text{вим}}}$.

Наприклад, тиристор 2У208 має такі параметри: $U_{\text{пр}}=400$ В, $I_{\text{А}} \leq 5$ А, $I_0=5$ мА, $I_y < 150$ мА, $f \leq 400$ Гц, $t_{\text{вм}} < 150$ мкс, $t_{\text{вим}} < 10$ мкс.

Великі ступінь та напруги, що перемикаються, визначають його застосування, як ключового елемента в системах перетворення енергії, автоматизації та інше.

Зовнішній вигляд різних типів тиристорів наведено на рис.2.17.



Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд різних типів тиристорів.

2.4 Методи управління тиристорами

Розробка тиристорних регуляторів напруги та потужності є одним з перспективних напрямів розвитку сучасної силової радіоелектроніки який базується на сучасних досягненнях напівпровідникової технології. Тиристори використовуються в комутаційних та захисних пристроях постійного і змінного струму в широкому діапазоні номінальних напруг та струмів. Відповідно до [11] тиристори можна за принципом управління розділити на:

1. Схеми та пристрої з природною комутацією. Вони призначені для роботи в мережах змінного струму. Відключення їх здійснюється шляхом зміни полярності напруги джерела живлення, завдяки чому до тиристора прикладається зворотна напруга і він вимикається. Таке рішення не вимагає

додаткових схемотехнічних рішень, крім блокування надходження керуючих імпульсів на вході тиристора.

2. Схеми та пристрої з штучною комутацією. Вони призначені для роботи в мережах постійного струму. Процес відключення їх пов'язаний із зміною полярності напруги на тиристорі та підтримкою сигналу управління на час, який достатній для вимикання.

3. Схеми та пристрої з фазовим регулюванням. До цієї групи належать апарати змінного струму з природною і штучною комутацією, що виконують функції регулювання вихідної напруги та потужності. Керування здійснюється затримкою вмикання тиристора на заданий кут відносно нульової фази вхідного струму.

В [12] методи управління тиристорами поділяють на амплітудний, фазовий та фазово-імпульсний.

Амплітудний метод управління полягає в тому, що на керуючий електрод тиристора подають позитивну напругу, яка може змінюватися за своїм значенням. Тиристор відкривається, якщо ця напруга стає достатньою для протікання через керуючий електрод струму відкривання. Регулюючи значення напруги на керуючому електроді, можна змінювати момент відкривання тиристора. Метод управління працює лише протягом першої половини позитивного напівперіоду напруги мережі. Використання симістора чи включення тиристора в діагональ мостової схеми дозволяє регулювати напругу в навантаженні протягом обох напівперіодів напруги мережі.

При фазовому методі управління за допомогою фазобертаючого моста змінюють фазу керуючої напруги відносно напруги на аноді тиристора, тобто змінюють кут відкриття тиристора. В результаті зміни кута відсічки до навантаження йдуть неповні напівхвилі синусоїди (зазвичай без переднього фронту), внаслідок чого знижується діюча напруга.

Існує декілька видів фазового регулювання. Це фазове регулювання з запізнюючим кутом управління (рис.2.18 а), фазове регулювання з випереджаючим кутом управління (рис.2.18 б) та фазове регулювання з

двостороннім керуванням (рис.2.18 в). Принцип дії цих видів показані на графіках рис.2.19 – рис.2.20.

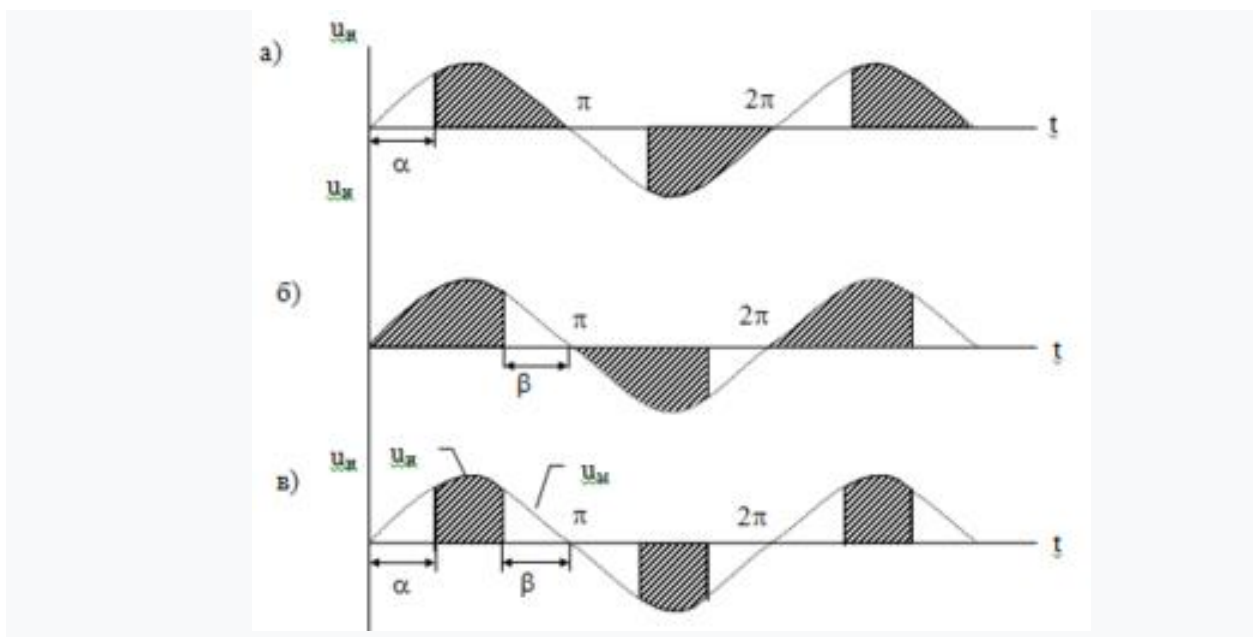


Рисунок 2.18 – До пояснення видів фазового управління тиристором

До переваг фазового регулювання відносять невелику вартість комплектуючих елементів системи регулювання, простоту схемо технічних рішень як перетворювачів так і кіл курування. Головним недоліком є спотворення форми напруги (напруга стає несинусоїдальною) на виході перетворювача та при використанні в якості випрямляча великий коефіцієнт пульсацій вихідної напруги, що впливає на роботу асинхронних електричних двигунів. Однак таке регулювання широко використовується для плавного пуску електродвигунів, зарядки акумуляторів, регулювання потужності різних побутових пристроїв (яскравості ламп, значення наруги для підігріву різних пристрої, що забезпечують комфорт в приміщеннях, то що).

Фазо-імпульсний (або ще широтно-імпульсний) метод управління тиристорами відрізняється від попереднього тим, що з метою підвищення точності і стабільності моменту відкриття тиристора на його керуючий електрод подають імпульс напруги з крутим фронтом. Це призводить до більш чіткого відкривання тиристора. Такий метод зараз використовується в промислових регуляторах найчастіше. [13,14].

Осцилограми сигналів для тиристора та симістора показані на рис.2.19 та рис.2.20, відповідно.

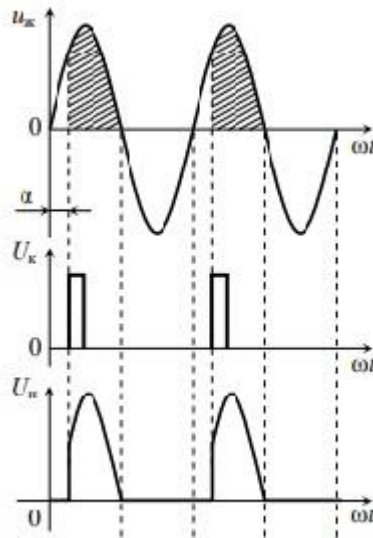


Рисунок 2.19 – Осцилограми сигналів на активному навантаженні для тиристорного регулятора напруги

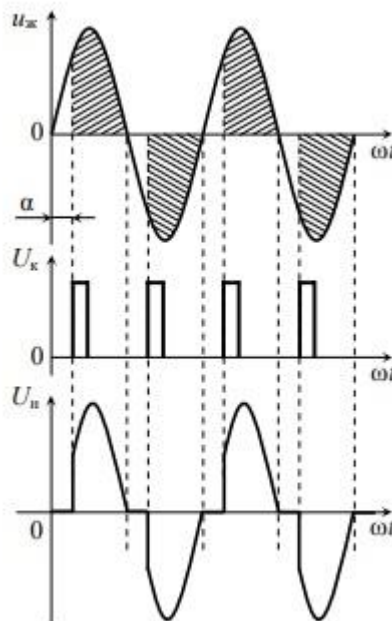


Рисунок 2.20 – Осцилограми сигналів на активному навантаженні для симісторного регулятора

При ввімкненні тиристора в коло змінного струму може відбуватися:

- вмикання або вимикання електричного кола з активним та активно-реактивним навантаженням;
- зміна середнього і поточного значень струму через навантаження за рахунок регулювання моменту подачі сигналу управління.

За звичай тиристорний ключ проводить електричний струм тільки в одному напрямку, тому для підвищення ефективності роботи тиристорів на

змінному струмі застосовується їх зустрічно- паралельне ввімкнення (рис.2.21, а) або симістори.

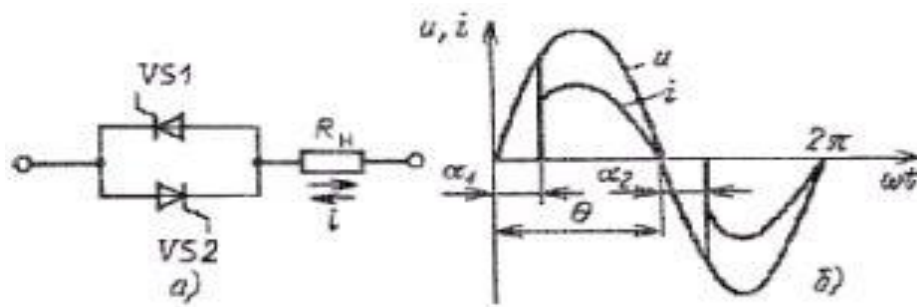


Рисунок 2.22 – Зустрічно-паралельне ввімкнення тиристорів (а) і форма струму при активному навантаженні (б)

Середнє і діюче значення струму в навантаженні змінюється за рахунок зміни моменту подачі на тиристори VS1 і VS2 відкриваючих сигналів, тобто за рахунок зміни кута відсічки α (рис.2.22 б). Значення цього кута для тиристорів VS1 і VS2 необхідно змінювати одночасно за допомогою системи управління. Цей кут ще називають кутом відмикання тиристора.

2.5 Відомі варіанти лабораторної роботи

Існує достатня кількість лабораторних робіт. В них розглядається сам тиристор, основні принципи його роботи, а також можливі його застосування. Огляд лабораторних робіт наведено в розділі 1.3. Вони мають як свої переваги так і недоліки та можуть в певній мірі задовільнити навчальний процес.

Однак в дисертації розроблений інший варіант лабораторної роботи, який, на наш погляд, дозволить більш повно зрозуміти принцип роботи тиристорів та їх застосування.

2.6. Структурна схема регулятора напруги, що досліджується в лабораторній роботі

Тиристорний регулятор (ТРН) напруги складається з тиристорного блоку (ТБ) та системи управління кутом відсічки (СУКВ). Структурна схема регулятора напруги приведена на рис.2.23 а.

Система управління кутом відсічки формує сигнал управління U_y , який поступає на тиристорний блок і регулює вихідну напругу ТРН (рис.2.23 б).

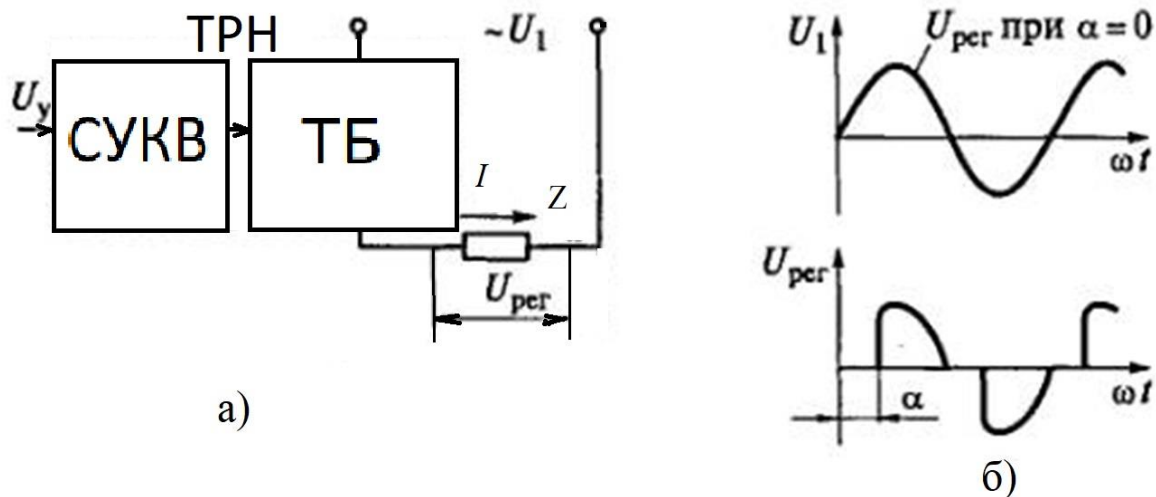


Рисунок 2.23 – Структурна схема тиристорного регулятора напруги

2.7 . Розробка схеми електричної принципової

2.7.1. Схема регулятора

В роботі запропонована принципа електрична схема (рис.2.24), яка відповідає структурній схемі одного каналу регулятора описаного в розділі 2.6 (рис.2.23). Вона складається з трьох ідентичних каналів з фазовим управлінням кута відсічки виконаних на С1, С2, R2, R3 та P1; С3, С4, R5, R6 та P1; С5, С6, R8, R9 та P1, відповідно для фаз А, В, С трифазної мережі живлення 380 В.

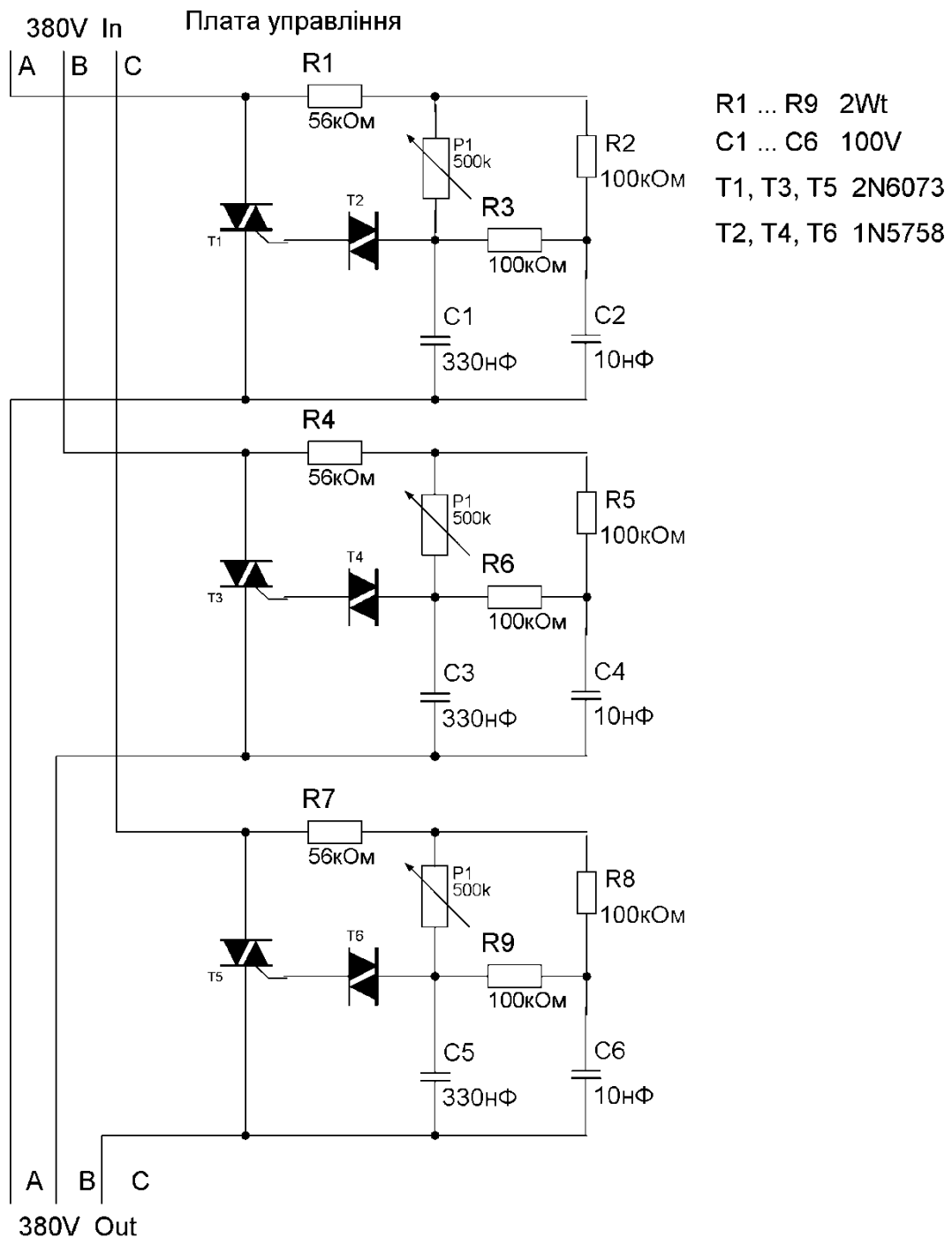


Рисунок 2.24 – Принципова схема розробленого
трифазного регулятора напруги

2.7.2. Вибір елементної бази

В якості складових елементів вибрані ЕРЕ вказані в табл.2.1.

Таблиця 2.1.

ЕРЕ необхідні для одного каналу регулятора

Набор ЕРЕ для однієї силовій плати (вибрано відповідно до каталогу IMRAD.kiev.ua)			
№	Назва	Кількість	Вартість гр. за 1шт
1	Тиристор 2N6073 TO225, (BT134-600D, SOT82)	3	7
2	Діод 1N5758, (DB3 DO-35)	3	1
3	Резистор 56k 2Вт 5%	3	1
4	Резистор 100k 2Вт 5%	6	0,2
5	Конденсатор керамічний 330 пФ 20% 100В	3	4,2
6	Конденсатор керамічний 10нФ 20% 100В	3	2,4
7	Резистор змінний WH 148 (здвоєний) 500 кОм 1Вт	2	20

Для виготовлення фізичного аналогу віртуальної лабораторної роботи необхідно також матеріали та інструмент, які наведені в табл.2.2.

Таблиця 2.2.

Матеріали та інструмент, які необхідні для виготовлення одного каналу регулятора

Набор ЕРЕ для однієї силовій плати (вибрано відповідно до каталогу IMRAD.kiev.ua)			
№	Назва	Кількість	Вартість гр. за 1шт
1	Склотекстоліт фольгований СФ-1-35 2,0мм 20см x 30см	1 шт.	
2	Хлорне залізо 500гр	1 банка	
3	Провід багатожильний мідний Січення 1мм ²	5м	1
4	Свердло 1мм 5шт	6	
5	Свердло 3мм 2шт	3	
6	Припій ПОС61 500гр.	1 коробка	
7	Флюс ФЗ	1 пляшка	

2.8. Висновки за розділом

Таким чином в розроблена принципова електрична схема трифазного регулятора напруги з фазовим управлінням вихідної напруги, вибрана елементна баз, матеріали та інструменти необхідні для виготовлення фізичного макету.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ З ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРА

Лабораторна робота

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИРИСТОРА ТА ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРУГИ

3.1. Мета і зміст роботи

Мета. Ознайомлення з фізичними основами роботи тиристорних напівпровідникових елементів, зі структурою й принципом роботи напівпровідникових тиристорів. Вивчити способи управління тиристорами, навчитися визначати їхні основні параметри.

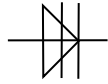
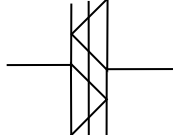
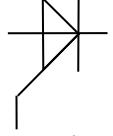
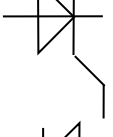
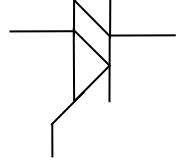
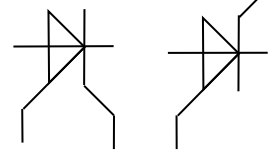
Зміст. В роботі досліджують анодні, анодно-сіткові, сіткові та сітково-анодні характеристики тріода. Визначають параметри тріода в робочій точці за характеристиками. За статичними анодними характеристиками і лінією навантаження будують робочу анодно-сіткову характеристику і порівнюють її з отриманою експериментально. Розраховують робочі параметри $S_{роб}$ та $\mu_{роб}$. Вивчають струморозподіл в тріоді в різних режимах, розраховують коефіцієнт струморозподілу. Вивчають струм в колі сітки, коли її потенціал негативний. Визначають сітковий струм з переважаючою іонною компонентою.

Короткі теоретичні відомості. Тиристори – це багатоперехідні структури, які використовуються в силовій електроніці і мають більше ніж три $p-n$ переходи. Тиристор – це перемикальний НП прилад, який має два стійких стани: *закрито*, коли через нього протікає малий струм, і *відкрито* – коли протікає значний струм.

Перевагами тиристорів над транзисторними ключами є:

- Великий коефіцієнт підсилення за струмом (незначний струм керування управляє великим струмом).
- Значно більші значення струму та напруги.
- Висока надійність та простота керування.

Оснoву тиристора складає пластинка з монокристалу кремнію з областями *p*- і *n*-типу, які чергуються між собою. Залежно від конструктивних особливостей і властивостей тиристори поділяються на діодні (диністори) і тріодні (триністори). Типи тиристорів наведені нижче:

- | | |
|--|---|
| 1. Діодний тиристор (диністор) |  |
| 2. Діодний симетричний тиристор (симістор) |  |
| 3. Тріодний тиристор (триністор) з керуванням за анодом |  |
| 4. Тріодний тиристор (триністор) з керуванням за катодом |  |
| 5. Тріодний симетричний тиристор (симістор) |  |
| 6. Тетродний тиристор (тріак) |  |

Оснoву тиристора складає пластинка з монокристалу кремнію з областями *p*- і *n*-типу, які чергуються між собою. Крайні області пластини є основними електродами: **область *p*-типу – анод (А), область *n*-типу – катод (К).**

Анод і катод тиристора мають відводи. Такий тиристор (з двома відводами) називають **диністором** або некерованим перемикальним діодом.

Крім того, відвід у тиристора може бути і від внутрішньої області. Цей відвід називається електродом управління (**керівним електродом**). При наявності відводу від внутрішніх областей, тиристор називається тріодним або **триністором** (керуємим перемикальним діодом).

Крім того, до класу тиристорів відносяться симетричні триністори. Тиристор, що має чотири виводи називається **тріаком**.

Тиристри можуть бути малої потужності ($I_{пр} \leq 0,3 \text{ А}$), середньої потужності ($0,3 \text{ А} < I_{пр} < 10 \text{ А}$) і великої потужності ($I_{пр} > 10 \text{ А}$).

Перевести тиристор у провідний стан можна, підключивши до однієї з його базових областей джерело струму в прямому включенні. Залежно від того база якого емітерного переходу буде керуючою, розрізняють триністри з керуванням по аноду і з керуванням по катоду. На рис.3.1, показане включення джерела керуючого струму в нижню базу тиристора, а на рис.3.2 підключення тиристора при різних схемах керування.

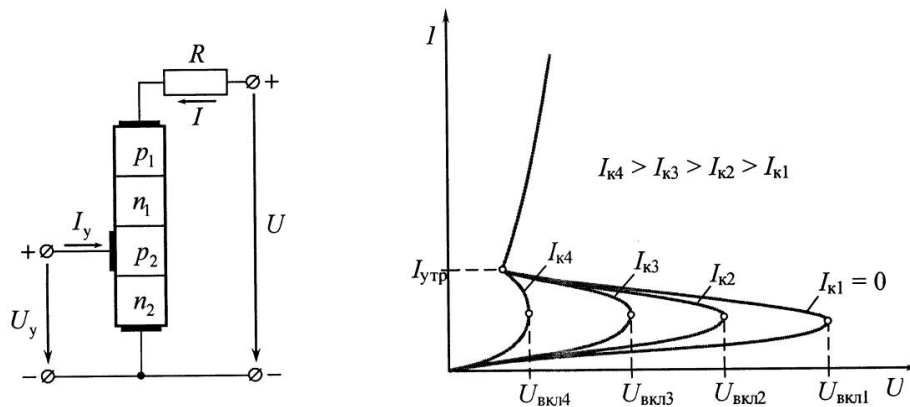


Рисунок 3.1. – Схема ввімкнення тиристора та його ВАХ

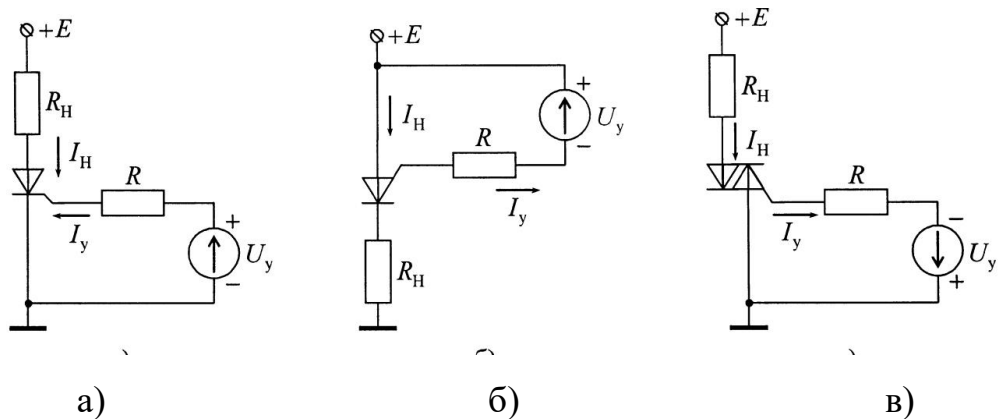


Рисунок 3.2. – Підключення джерел керування тиристорів

а) – керування по катоду; б) – керування по аноду; в) – керування симістором

Для перемикальних діодів в віртуальних лабораторіях Workbench EWB 5,0 та Multisim 12 можна задати тип тиристора та за допомогою діалогового вікна скорегувати значення наступних параметрів переключаючих елементів:

Saturation current I_s [IS], А – зворотний максимальний струм динистора;

Peak Off-state Current I_{drm} [IDRM], А – зворотний максимальний струм тринистора;

Switching voltage V_s [VS], В – напруга, за якої динистор перемикається у відкритий стан, напруга включення ($U_{вкл}$);

Forward Breakover voltage V_{drm} [VDRM], В – напруга, за якої тринистор перемикається у відкритий стан, напруга включення ($U_{вкл}$);

Peak On-State Voltage V_{tm} [VTM], В – пряме падіння напруги у відкритому стані;

Forward Current at which V_{tm} is measured I_{trn} [ITM], А – максимально допустимий струм у відкритому стані;

Turn-off time T_g [TG], с – час перемикання в закритий стан;

Holding current I_h [IH], А – мінімальний струм у відкритому стані (якщо він менше встановленого, то прилад переходить у закритий стан);

Critical rate of off-state voltage rise dv/dt [DV/DT], В/мкс – гранична швидкість наростання анодної напруги тринистора, при якому він залишається в закритому стані (при більшій швидкості тринистор відкривається);

Zero-bias junction capacitance C_j [CJO], Ф – бар'єрна ємність динистора при нульовій напрузі на переході;

Gate Trigger voltage V_{gt} [VGT], В – напруга на керуючому електроді відкритого тринистора, керуюча напруга включення;

Gate Trigger current I_{gt} [IGT], А – струм керуючого електрода, керуючий струм включення;

Voltage at which I_{gt} is measured V_d [VD], В – напруга на керування.

3.2. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму. Вибрати тиристор. Зібрати схему для дослідження ВАХ тиристора (рис.3.3). Установити задані параметри елементів схеми.

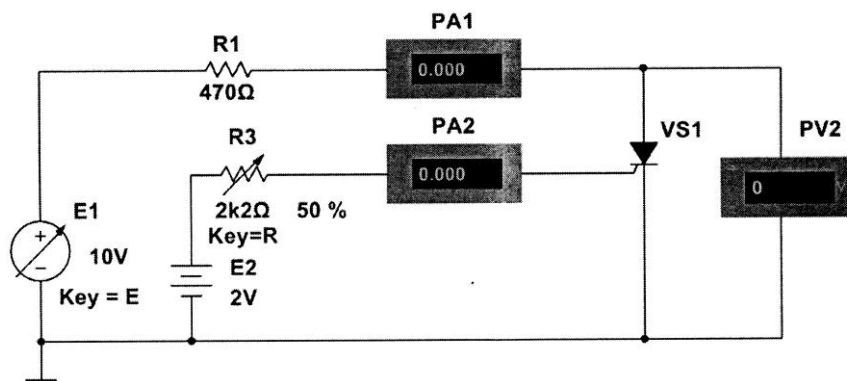


Рисунок 3.3. – Схема для дослідження характеристик тиристора

2. Ввімкнути схему. Змінюючи напругу джерела живлення $E1$ зняти по точкам зняти сімейство ВАХ тиристора $I_{пр} = f(U_{пр})$ при різних струмах, що протікають через керуючий електрод I_k , відповідно, 0,95 мА, 0,97 мА та 1,0 мА. За приладом PV2 визначити напругу вмикання тиристора $U_{вм}$. Струм керування I_k регулювати за допомогою змінного резистора $R3$. Результати вимірювань записати в табл.3.1.

Таблиця 3.1

Результати експериментальних досліджень ВАХ тиристора

$I_{k1} = 0,95 \text{ мА}, U_{вм1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E1, \text{ В}$							
$U_{пр}, \text{ В}$							
$I_{пр}, \text{ мА}$							
$I_{k2} = 0,95 \text{ мА}, U_{вм2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E1, \text{ В}$							
$U_{пр}, \text{ В}$							
$I_{пр}, \text{ мА}$							
$I_{k3} = 0,95 \text{ мА}, U_{вм3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E1, \text{ В}$							
$U_{пр}, \text{ В}$							
$I_{пр}, \text{ мА}$							

3. За даними табл.1 побудувати сімейство ВАХ тиристора.

4. Зібрати схему для дослідження однофазного однопівперіодного керованого джерела напруги (рис.3.4).

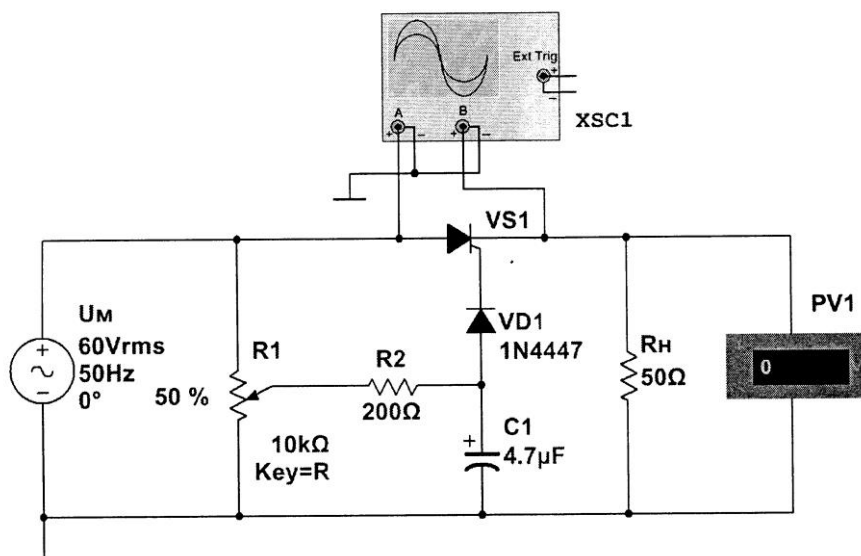


Рисунок 3.4. – Схема для дослідження однофазного регулятора напруги

5. Установити параметри елементів схеми в відповідності до заданого варіанту (табл.3.2).

Таблиця 3.2

Параметри схеми для дослідження

№ варіанту	Напруга U_{BM} , В	Кут відсічки, α , град.	R_2 , Ом	C , мкФ	R_H , Ом
1	40	10	70	5,5	30
2	60	20	90	5,0	40
3	90	30	110	4,5	50
4	100	50	130	4,0	60
5	127	90	150	3,5	70
6	160	110	170	3,0	80
7	200	130	190	2,5	90
8	220	150	210	2,0	100
9	230	160	230	1,5	110
10	240	170	250	1,0	120

6. Включити схему та змінюючи опір резистора фазообертача дослідити зміну випрямленої напруги як функцію величини кута керування тиристором. Кут визначати за допомогою осцилографа (рис.3.5).

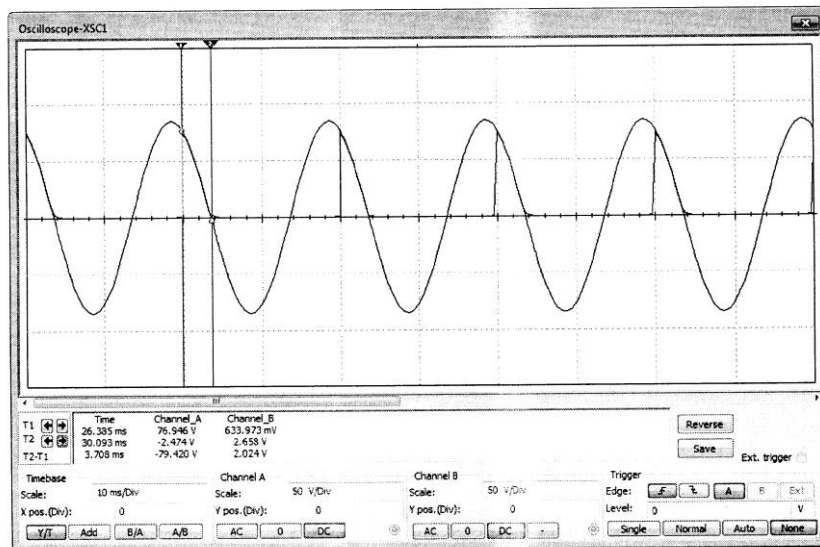


Рисунок 3.5. – Осцилограми до пояснення величини фазового кута при дослідженні однофазного регулятора напруги

7. Зібрати схему трьохфазного регулятора (рис.3.6). Впевнитися в його працездатності. Скан екрану приведено на рис. 3.7. Навести осцилограми напруг.

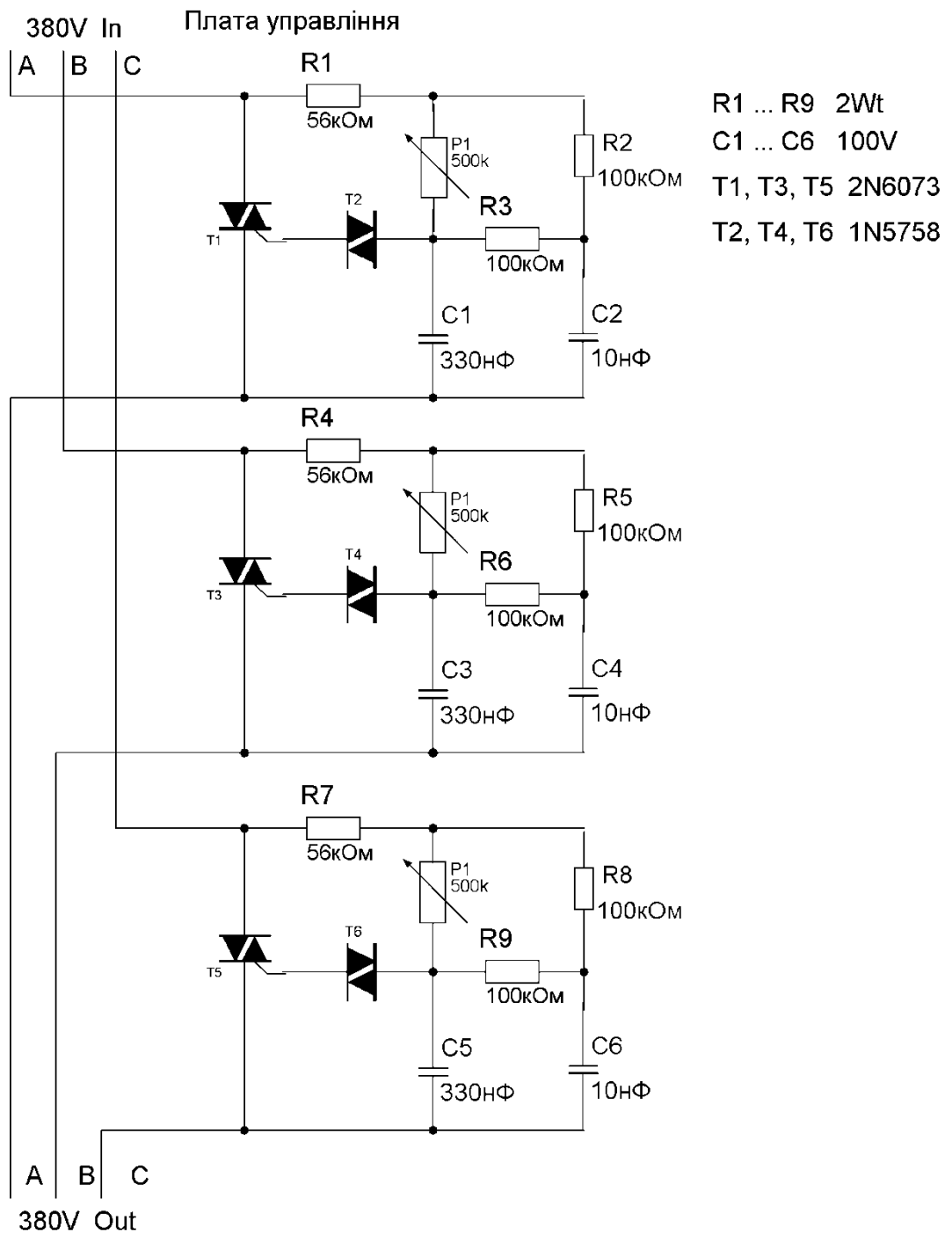


Рисунок 3.5. – Схема для дослідження трифазного регулятора напруги

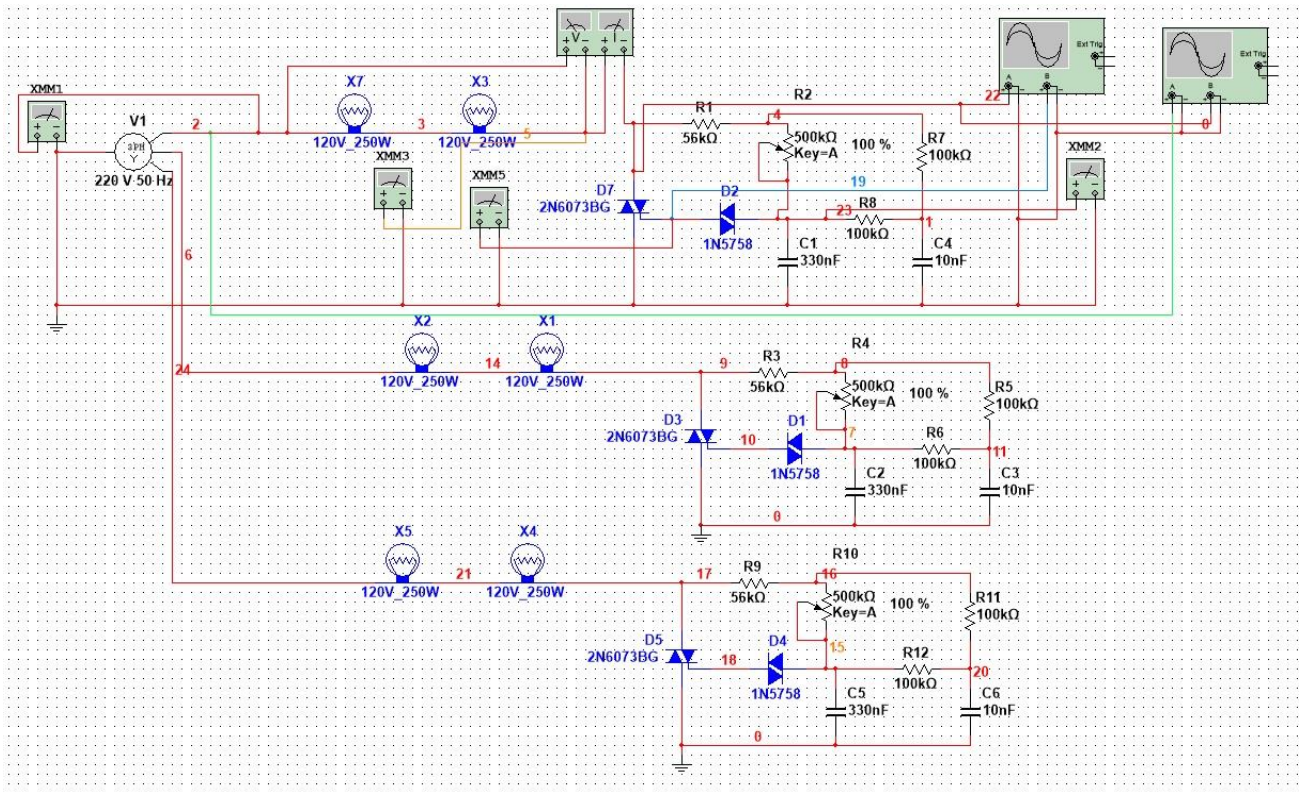


Рисунок 3.7. – Скан екрану схеми для дослідження

3.3. Зміст звіту

1. Розділ із зазначенням найменування роботи, номера варіанта, прізвища з ініціалами імені та по батькові виконавця, номер групи і дати виконання роботи. В електронному варіанті файл звіту повинен називатися, наприклад, ЛР ТИР РТ91 Іванов (лабораторна робота тиристори, група, прізвище).
2. Короткі відомості теоретичного плану про досліджуваний елемент та при необхідності розрахункові формули до обробки експериментальних даних.
3. Результати виконання кожного з пунктів завдання, зокрема:
 - схему досліджень з зображенням приладів контролю;
 - епюри напруг на момент, що досліджуються;
 - таблиці з результатами вимірювань;
 - технічні висновки;

- графіки відповідно до завдань, виконані в одних осях координат з обов’язковою постановкою величин, в яких вимірювалися дані.

3.4. Висновки за розділом

В розділі розроблена лабораторна робота з дослідження тиристорів та тиристорних регуляторів напруги для мережі 220/380 В. Наводиться методика проведення лабораторної роботи та вимоги до її виконання.

4 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОГО АНАЛОГУ ВІРТУАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1 Конструкція електронного блоку макету при фізичному виконанні

Макет лабораторної роботи може бути виготовлений фізично. Вихідними даними для його виготовлення є схема електрична принципова (рис.3.5), перелік елементів (табл.4.1).

Таблиця 4.1.

ЕРЕ необхідні для одного каналу регулятора

Набір ЕРЕ для однієї силової плати (вибрано відповідно до каталогу IMRAD.kiev.ua)			
№	Назва	Кількість	Вартість гр. за 1шт
1	Тиристор 2N6073 TO225, (BT134-600D, SOT82)	3	7
2	Діод 1N5758, (DB3 DO-35)	3	1
3	Резистор 56k 2Вт 5%	3	1
4	Резистор 100k 2Вт 5%	6	0,2
5	Конденсатор керамічний 330 пФ 20% 100В	3	4,2
6	Конденсатор керамічний 10нФ 20% 100В	3	2,4
7	Резистор змінний WH 148 (здвоєний) 500 кОм 1Вт	2	20

Для виготовлення фізичного аналогу віртуальної лабораторної роботи необхідно також матеріали та інструмент, які наведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2.

Матеріали та інструмент, які необхідні для виготовлення регулятора

Набір ЕРЕ матеріалів та інструменту (вибрано відповідно до каталогу IMRAD.kiev.ua)			
№	Назва	Кількість	Вартість гр. за 1шт
1	Склотекстоліт фольгований СФ-1-35 2,0мм 20см x 30см	1 шт.	
2	Хлорне залізо 500гр	1 банка	
3	Провід багатожильний мідний Січення 1мм ²	5м	1
4	Свердло 1мм 5шт	6	
5	Свердло 3мм 2шт	3	
6	Припій ПОС61 500гр.	1 коробка	
7	Флюс ФЗ	1 пляшка	

4.2. Друкована плата макету

Плата пристрою конструктивно виконана як одностороння друкована плата (ДП). Матеріал друкованої плати – фольгований склотекстоліт СФ1-35-1 ГОСТ 10316-78. Товщина фольги склотекстолита становить 35 мкм, товщина плати – 2,0 мм. Максимальна густина струму за ГОСТ 23751-86, що може протікати в провідниках друкованої плати, складає 100...250 А/мм². Вибираємо 250 А/мм².

Ширину провідників виберемо в відповідності до виразу

$$b = I_{max} / Ch$$

де I_{max} – максимальний струм, що проходить в провіднику, А, C – допустиме струмове навантаження провідника, А/мм², h – товщина провідника, мм.

$$b = 0.05 / 250 \cdot 35 \cdot 10^{-3} = 0,006 \text{ мм.}$$

Провідник такої ширини технологічно важко виготовити, тому ширину виберемо рівною найближчому технологічно можливому значенню. Згідно з ГОСТ 23751-86 і з урахуванням можливостей виробництва найближчим значення ширини провідника ДП складає 0,15 мм. Однак з метою покращення електромагнітної сумісності та зменшення паразитних зв'язків по спільним електричним колам вибираємо шини живлення й землі якомога ширшими наскільки дозволяє вільна площа плати (не менше 1 мм). Струми, що протікають в інших провідниках істотно менші, то ширину цих провідників візьмемо рівною 0,25 мм.

Вибираємо:

- ширину друкованого провідника $t = 0.25$ мм;
- відстань між друкованими провідниками $s = 0.25$ мм;
- «поясок» $b = 0.1$ мм;
- відношення діаметру отвору до товщини основи плати $\gamma = d/H = 0.33$;
- допуски ширини друкованого провідника без покриття $\Delta t = \pm 0.005$;
- позиційний допуск $T_D = 0.08$ мм;
- розміри плати – 112x63 мм;
- допуск розміру плати ± 0.3 мм;
- діаметр отворів не менший 0.5 мм.

На рис.4.1 наводиться ескіз друкованого вузла спроектованого регулятора.

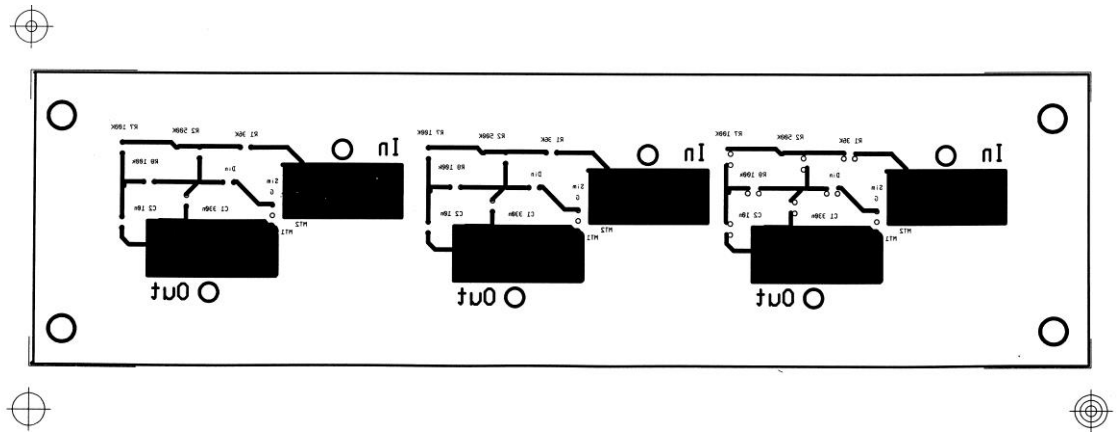


Рисунок 4.1 – Топологія плати (Фотошаблон)

4.3. Моделювання електронного регулятора

Схема змодельована в пакеті прикладних програм Multisim 12. Результат моделювання наведено на рис.4.2 (із екрана).

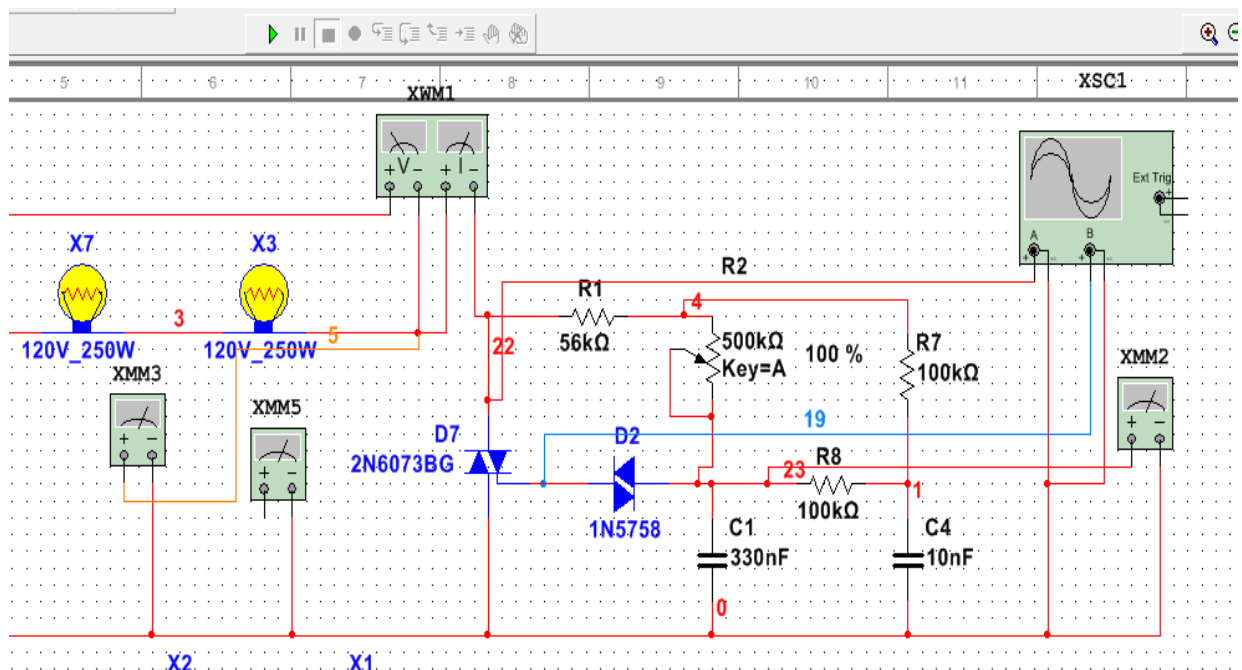


Рисунок 4.2 - Змодельована схема одного каналу

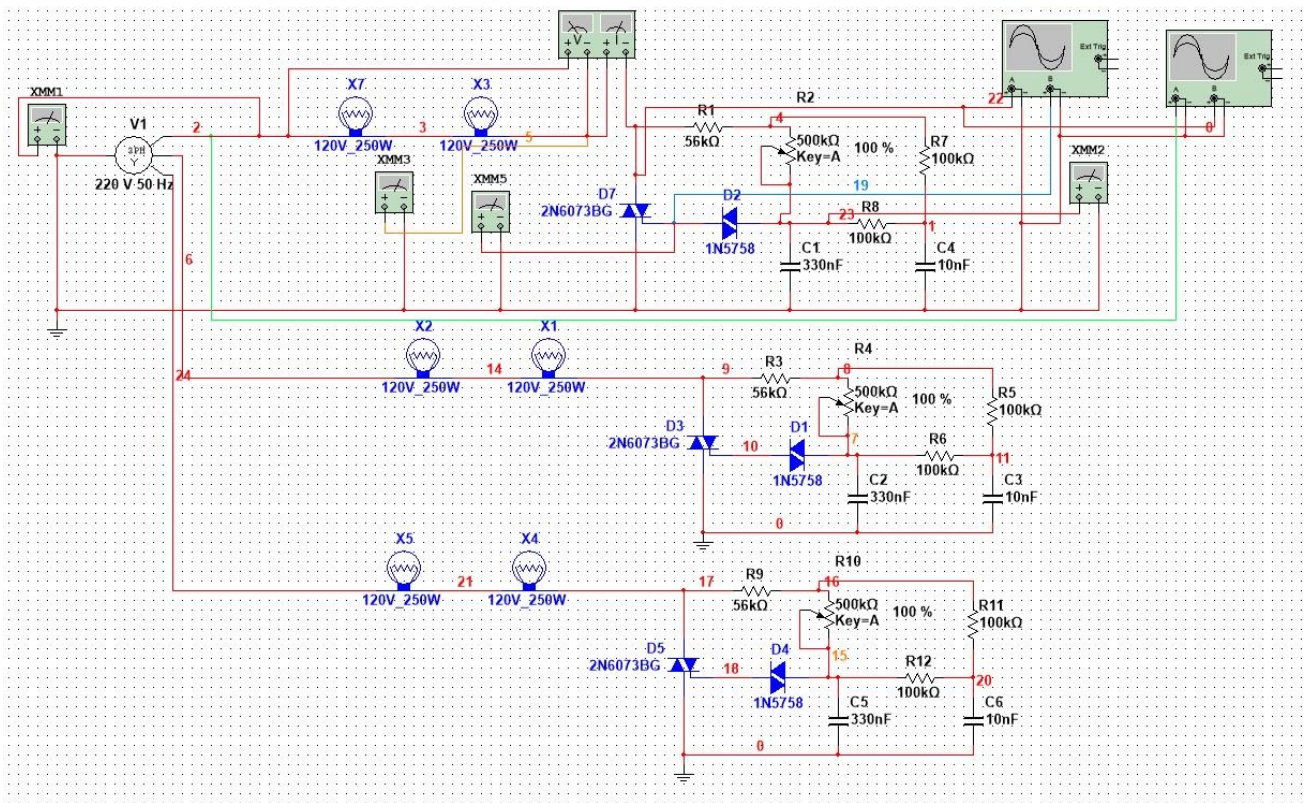


Рисунок 4.3 - Змодельована схема трифазного регулятора
в пакеті Multisim 12

Осцилограми сигналів при різних положеннях резистора R_2 показані на
рис.4.4 – рис.4.6.

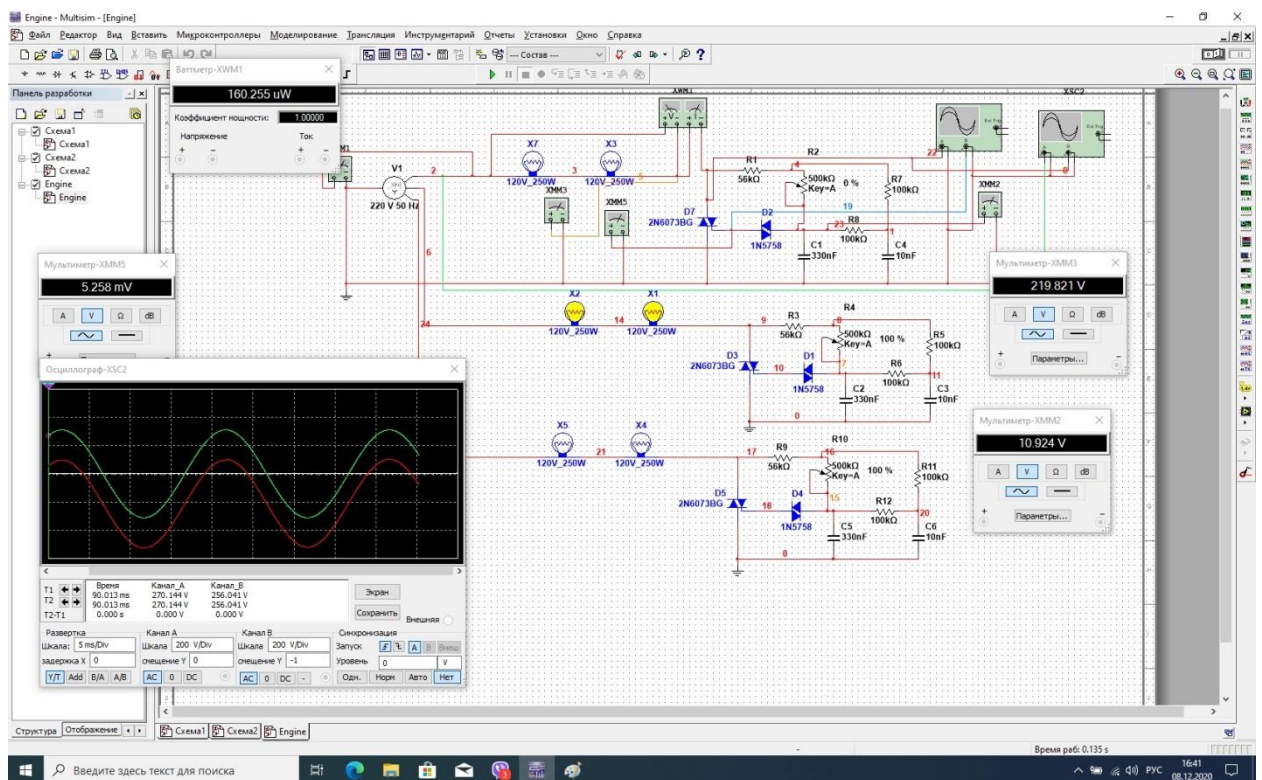


Рисунок 4.4 - Осцилограми сигналів при R_2 , що складає 0 %

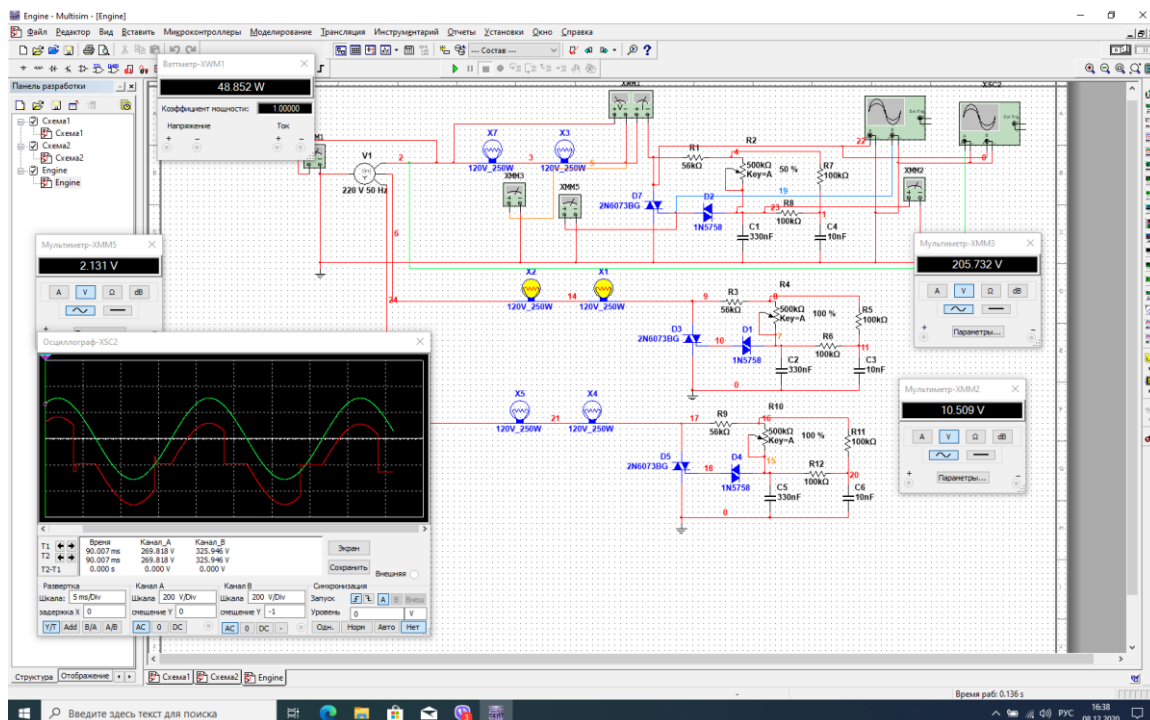


Рисунок 4.5 - Осцилограми сигналів при R_2 , що складає 50 %

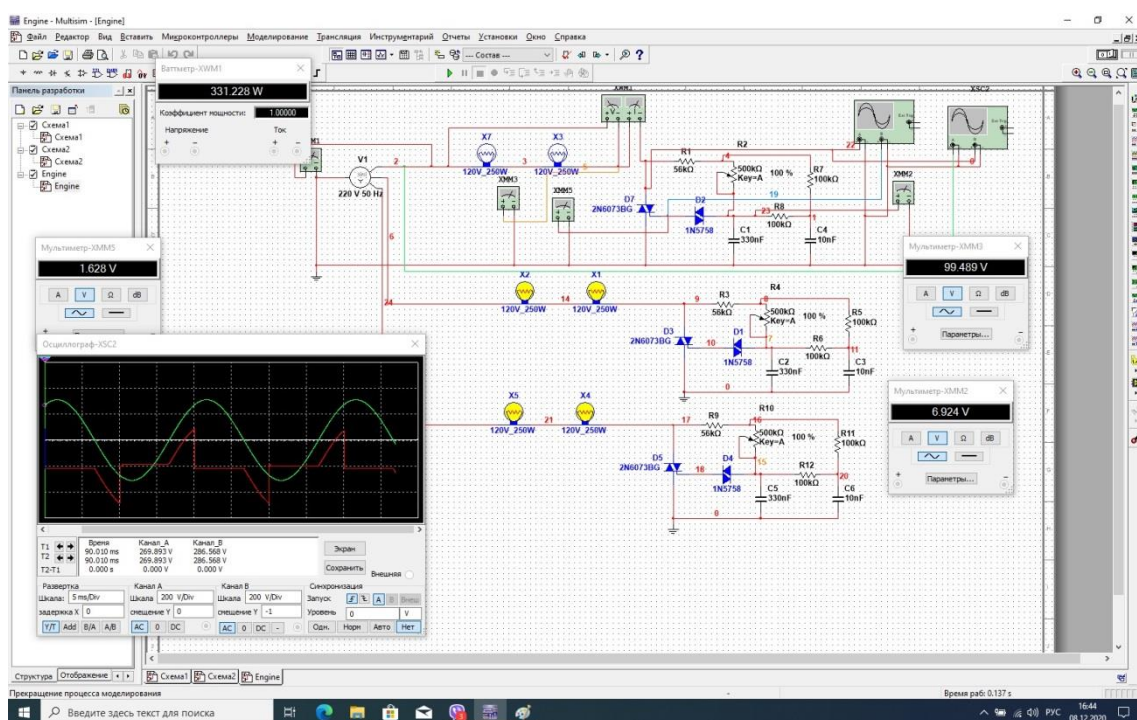


Рисунок 4.6 - Осцилограми сигналів при R_2 , що складає 100 %

4.4. Висновки за розділом

Розроблено та досліджено схемотехнічне рішення та друкована плата до лабораторного макету тиристорного регулятора напруги, який в своєму складі не має дефіцитних та дорогих комплектуючих та дозволяє виконати роботу з досліджень на реальному фізичному макеті повторивши результати віртуального дослідження в середовищі Multisim. .

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЄКТУ

5.1. Обґрунтування сутності стартап проєкту

Однією з проблем вищої освіти є неможливість випускників ВУЗів в повній мірі реалізувати себе. Ця проблема зачіпає як інтереси здобувачів вищої освіти, так і усе суспільство, що не може ефективно розвиватися без конкурентоспроможних фахівців, які володіють сучасними технологіями. Як вказано в [15] якість вищої освіти не відповідає очікуванням роботодавців, студентів та суспільства в цілому.

Урядовими фахівцями [16] вказується, що для покращення сучасного стану в освіті необхідно всю стратегію її розвитку та інноваційної національної системи спрямувати на поліпшення структурних елементів системи, якими є:

наукові працівники і юридичні особи, в яких вони працюють (заклади вищої освіти та наукові установи тощо);

фізичні та юридичні особи, які створюють нові технологічні рішення, продукти, методи або засоби виробництва, види товарів і послуг, структури управління без проведення наукової (науково-технічної) роботи.

Розв'язати проблему передбачається шляхом здійснення програмних заходів за рядом напрямів серед яких слід виділити створення сприятливого нормативно-правового поля для суб'єктів господарювання, що провадять інноваційну діяльність, та підвищення рівня спроможності, що реалізується шляхом культурно-просвітницької діяльності, підвищення інноваційної культури та освітню діяльність, спрямовану на забезпечення успішної кар'єри молоді після завершення навчання у закладах вищої освіти. Важливим є започаткування власної справи (бажано вже під час навчання в ВНЗ), робота на підприємстві під час проходження практики, дуальна освіта, що відповідає сучасному технологічному рівню, та активна участь в науковій роботі, що проводиться в межах підрозділів ВНЗ. Також значну роль відіграє залучення кращих студентів до викладацької роботи а тим самим підготовка висококваліфікованих нових викладачів [16].

Інформатизація є необхідною умовою удосконалювання навчального процесу. Вона передбачає використання різноманітних комп'ютерних технологій, які є інноваційними. Комп'ютерні технології – це ефективний інструментом для розвитку нових форм та методів навчання, що особливо актуально в умовах карантинного режиму пов'язаного з пандемією Covid 19.

5.2. Аналіз ринкових можливостей

Нинішній ринок праці, який постійно змінюється особливо останнім часом, означає, що випускники ВНЗ та студенти старших курсів, які за звичай уже працюють, не матимуть одного місця роботи протягом свого трудового життя. Молоді доведеться неодноразово змінювати роботу і кваліфікацію, деяким навіть змінити місце проживання. Тому одним з завдань вищої освіти є допомога студентам та випускникам виробити спроможність виживати на кон'юктурному ринку праці. Необхідно не забувати і про навички, які дозволять ефективно працювати в малому чи середньому бізнесі [17]. Для цього необхідно навчитися створювати та реалізувати стартап проекти, розроблювати інноваційні технології, без яких неможливий розвиток національної освіти, науки та економіки.

Інноваційний сегмент, як складовий компонент навчального процесу, є важливим в оновленні та інтенсифікації викладання навчальної дисципліни. Він сприяє залученню до світової наукової практики, інтеграції в європейський педагогічний простір, прогнозує підвищення результативності навчання [18]. Питання шляхів реалізації інновацій в освіті достатньо складне. Одним із напрямків іновації є технологія стартапів, яка розкриває широкі можливості для викладача та студента, дозволяє вибудовувати нові стратегії навчання, наближені до реальних життєвих ситуацій.

Стартап (Startup, запуск) трактується як нещодавно створена компанія, що будує свій бізнес на основі інновацій або інноваційних технологій, яка перебуває в процесі налагодування [19]. Термін «запуск» має на увазі, що у компанії є певна бізнес-ідея, яку вона хоче розвивати і просувати на ринку, але вона все ще займається тільки дослідженням ринку і

пошуком способів просування своєї ідеї, в тому числі - пошуком джерел фінансування.

Використовши базові концепції бізнес-стартапів можна адаптувати цю технологію в освітню діяльність навчального закладу. Тому під стартапом треба розуміти студентський (викладацький) проект, який дозволяє виконати поставлені перед ними завдання. Стартап виконується на основі інноваційних технологій, широких можливостей сучасного програмного забезпечення і в основному застосований в ІТ технологіях.

Основними принципами стартапу є глобальне мислення, побудова стратегії, інноваційна ідея, чіткість мети, пошук партнерів, вдала назва, яка може зацікавити інвесторів, та чітке планування. Одним із завдань стартапу є розповсюдження продукту (віртуального чи фізичного) серед визначеної зацікавленої в проекті спільноти.

Стартап в себе включає ряд етапів:

- На першому етапі зацікавленими особами генеруються ідеї стартапу;
- На другому етапі обговорюються пропоновані ідеї й обирається найкраща й найпродуктивніша;
- На третьому будується концепція продукту та визначаються його складові, вивчається стан досліджуваності проблеми, здійснюється розподіл обов'язків й сфер діяльності та проводиться первинна презентація проекту;
- Наступний етап – робота над проектом та його тестування. У процесі роботи можуть виникати нові ідеї, які призводять до змін всього стартапу. Якщо тестування (апробації) вдале то стартап пройшов перевірку.
- Останній етап – це отримання користі від реалізації проекту.

Стартап в освітній сфері можливо реалізувати використовуючи новітні інформаційні технології [20].

Під інформаційними технологіями (ІТ) розуміють способи та засоби збирання, оброблення та передавання інформації з метою одержання нової

інформації про предмети, що вивчаються, і засоби роботи з інформаційними ресурсами.

Основою засобів ІТ, які використовуються в освітній сфері, є персональний комп'ютер, оснащений набором периферійних пристроїв, а також універсальні прикладні програми і засоби інформаційно-комунікаційних технологій: текстові процесори, електронні таблиці, програми підготовки презентацій, системи управління базами даних, органайзери, графічні пакети та ін.

Завдяки сучасним ІТ (електронна пошта, телеконференції, вайбер, телеграм, заум, скайп а інше) спілкування між учасниками навчального процесу може проводитися і, особливо зараз, проводиться дистанційно. Це визиває складності в проведенні лабораторних робіт на фізичних, реальних макетах, які необхідно в повній мірі замінити віртуальними роботами. Для радіотехнічних спеціальностей це достатньо легко зробити в віртуальній лабораторії дослідження електронних схем Multisim. Тобто треба створити віртуальну реальність для успішного навчання. Вона певним чином відображає і перетворює реальний світ, утворюючи певний віртуальний простір відповідно до уявлень та мети того хто його будує, підтримує ілюзію місця знаходження користувача середовища об'єктів в реальному фізичному середовищі.

Така реальність може бути реалізована в навчальному процесі завдяки використанню різних прикладних пакетів, наприклад системі дистанційного навчання Moodle. Автоматизована навчальна система включає в себе комплекс навчально-методичних матеріалів (демонстраційні, теоретичні, практичні, контролюючі) і комп'ютерні програми, які керують навчальним процесом.

Мета – це розробка та впровадження в навчальний процес віртуальної лабораторної роботи з дослідження тиристорних регуляторів напруги 220/380 В, створеної в попередній частині магістерської дисертації у вигляді розробки концепції стартап-проект в умовах високо конкурентного ринкової економіки процесів глобалізації.

Ідея, сфери застосування та ефективність використання віртуальної роботи.

Таблиця 5.1

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка віртуальної лабораторної роботи з дослідження тиристорних регуляторів напруги	Використання в якості лабораторної роботи з дисципліни «Елементна база радіоелектронної апаратури»	Можливість проведення роботи в віртуальному просторі в пакеті Multisim, зручному для дистанційного навчання.
	Розширення інформації про тиристори та їх використання для силової електроніки	Зменшення помилок при виконанні тестових завдань з дисципліни
	Отримання практичних навичок створення та дослідження електронних схем в пакеті Multisim	Покращення роботи студентів при виконанні наступних робіт дисципліни

Основним конкурентом макету, що розглядається у даному проекті, є фізичний макет. Відмінністю озглянутої роботи є простота застосування, універсальність для досліджень інших робіт.

Таблиця 5.2

Визначення характеристик ідеї.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
----------	---	-------------------	-----------------------	-------------------

1	Простота			+
2	Дешевизна			+
3	Швидкодія		+	

Дослідимо технології та засоби, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту.

Таблиця 5.3

Технологічна можливість проекту.

п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка віртуальної лабораторної роботи з дослідження тиристорних регуляторів напруги	Технологія 1 (створення віртуального макету)	наявні (пакет Multisim 12)	доступні
2		Технологія 2 (наявність бази дослідження)	наявні (пакет Multisim 12)	доступні
3		Технологія 3 (проведення випробувань)	потрібно розробити	доступні
4		Технологія 4 (створення фізичного аналога)	потрібно розробити	доступні
Обрана технологія реалізації проекту: Технологія 1.				

Розглянемо напрями розвитку проекту враховуючи стан ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів, пропозицій, в умовах ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть вплинути на реалізацію проекту.

Віртуальна лабораторна робота може бути використана не лише при вивченні дисципліни «Елементна база РЕА» а і при вивченні дисциплін «Компонентна база РЕС», «Напівпровідникова елементна база», які викладаються згідно освітніх програм для спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Таким чином можна зробити висновок, що освітній ринок буде зацікавлений у даній продукції.

Потенційними клієнтами, споживачами даної продукції можуть бути викладачі, які читають інші дисципліни пов'язані з електронікою.

Далі розглянемо ринкове середовище, а саме складемо таблицю факторів, що впливатимуть впровадженню проекту на ринку.

Таблиця 5.4

Фактори загроз

№п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збільшення конкурентів на ринку	Збільшення конкурентів призведе до розробки інших робіт зі вказаної тематики	Зміна напрямку розробки інших робіт в середовищі Multisim 12
2	Технічний розвиток робіт у конкурентів	Покращення технологій, що призведе до швидшого і якіснішого процесу	Вихід з ринку

Таблиця 5.5

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Технічний	Удосконалення технологій	Розвиток

	розвиток та удосконалення віртуального макету	сприятиме покращенню та збільшенню ефективності проведення робіт, кращому засвоюванню матеріалу, розробці більш наглядних схем	даного напрямку
--	--	---	--------------------

Важливим кроком у будь-якому проєкті було і залишається формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього планується участь в науково-технічних конференціях, симпозіумах, реклама роботи засобами Інтернет.

Фінансування проєкту

5.3. Фінансування проєкту

Фінансування – робота безоплатна, та не потребує фінансових інвестицій до отримання готового продукту.

5.4. Висновки за розділом

Переглянувши вище наведену інформацію, можна зробити висновок, що даний проєкт має можливості у його реалізації. Це можна прослідкувати по динаміці ринку, попиту на даний товар. Має певні бар'єри у проходженні на ринок. Однак має і багато переваг. Також є можливості розвивати та удосконалювати розроблену лабораторну роботу.

Магістерська дисертація оформлена в відповідності до [21].

6. ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації створена віртуальна лабораторна робота з дослідження тиристорів та тиристорного регулятора напруги. Показана можливість розробки та розроблена наглядна лабораторна робота зручна для виконання в віртуальному середовищі в умовах дистанційного навчання.

1. У процесі проведеного огляду літературних джерел розглянуті питання, що пов'язані з принципом роботи тиристора, розглянуті його основні характеристики та наводиться методика дослідження основних характеристик.

2. Розглянуті відомі віртуальні лабораторії, дано їх порівняння та вибрано базову – продукт Multisim National Instruments (версія 12).

3. Розроблено схемотехнічне рішення макету. Схеми для дослідження ВАХ тиристора, його параметрів.

4. Розроблено та досліджено регулятор напруги побудований на тиристорі типу 2N6073BG.

5. Розроблено методичні рекомендації для виконання лабораторної роботи з досліджень тиристора та регулятора напруги на його основі.

Таким чином в дисертаційній роботі наведено теоретичний матеріал і запропоновано віртуальну лабораторну роботу досліджень багатоперехідних напівпровідникових структур в програмі Multisim National Instruments. Сподіваюся, що наведений матеріал допоможе студентам краще засвоїти курс навчальної дисципліни «Елементна база радіоелектронної апаратури» та набутти практичних навичок з моделювання і дослідження електронних схем.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бондаренко О.Ф. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт за курсом Пристрої перетворювальної техніки. Навчальний посібник для студентів для студентів, які навчаються за спеціальністю 171 Електроніка, спеціалізацією «Електронні системи» ьностей. Київський радіомеханічний технікум / Бондаренко О.Ф. Миколаєць Д.А. Діденко В.О. — К.:2017.— 81 с.: іл. [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу:
eds.kpi.ua › wp-content › uploads › 2017/12 › 4-Мето... - назва з екрану.
2. Методичні вказівки до виконання дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-2 "Тиристорні регулятори змінної напруги" для студентів напряму підготовки 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” / Упоряд.: С.І.Випанасенко, О.Р.Ковальов, С.В.Дибрін, О.В.Бобров. — Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 13 с.
3. Барась С. Т., Шеремета О. П. Б24 Лабораторний практикум з дисциплін «Електроживлення» та «Радіоелектронні пристрої» для студентів напрямів підготовки: 6.050901 — «Радіотехніка», 6.050902 — «Радіоелектронні апарати», 6.050903 — «Телекомунікації» — Вінниця : ВНТУ, 2016. — 84 с.
4. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Комплектні електроприводи» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050702 — «Електромеханіка» / Укладач А.М.Артеменко. — Кременчук: КНУ, 2016 — 48 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу:saue.kdu.edu.ua › disciplines › KER › LB_KER_2016 - назва з екрану.
5. Методичні вказівки до лабораторних робіт та розрахунково-графічних робіт по курсу «перетворювальна техніка»/ О.О.Шавьолкін, С.Б.Ковальов Донецьк: ДонДТУ, 2001 — с.82.

6. Файловий архів ХНАДУ Дисципліна Електроніка і мікросхемо техніка / Дзюбенко О.А., Трунова І.С. / файл LR_Thyristor_1.pdf — Режим доступу до ресурсу: <http://files.khadi.kharkov.ua/avtomobilnij-fakultet/avtomobilnoji-elektroniki/itemlist/category/335-mv-do-lab-ae.html> - назва з екрану.
7. Чорний О.П. Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень /Чорний О.П., Родькін Д.Й., Євстіфєєв В.О./ Кременчуцький державний політехнічний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук ПіКАД № 4/208 С.7-17 — Режим доступу до ресурсу: <http://www.picad.com.ua/0408/pdf/tech1.pdf> - назва з екрану.
8. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: посібник для виконання лабораторних і практичнихзанять / С.О. Квітка, Ю.М. Федюшко, Н.Г. Косуліна, С.О. Мороз; ХНТУСГ. – Х.: ФОП Мезіна В.В., 2017. – 244 с.
9. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: навчальний посібник для виконання лабораторних робіт / С.О. Квітка, С.Ф. Курашкін, О.В. Соломаха. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2018. – 184 с. — Режим доступу до ресурсу: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/2022.pdf> - назва з екрану.
- 10.Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Мікроелектронні пристрої електромеханічних систем» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладач М.Ю.Юхименко. – Кременчук: КНУ, 2017 – 49 с. [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: http://saue.kdu.edu.ua/upload/disciplines/MPES/MPES_LB.pdf - назва з екрану.
11. Системи керування параметрами електропобутових приладів на керованих вентилях (тиристорах) / Конспект лекцій з курсу «Системи автоматичного керування електропобутовими приладами» для студентів спеціальності – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка [Електронний ресурс] – Харків: НТУ ХПІ, 2013. – 32 с. – Режим доступу до

ресурсу:[http://web.kpi.kharkov.ua/ea/wp-](http://web.kpi.kharkov.ua/ea/wp-content/uploads/sites/25/2017/01/Kontent_SAK_EPP.pdf)

[content/uploads/sites/25/2017/01/Kontent_SAK_EPP.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/ea/wp-content/uploads/sites/25/2017/01/Kontent_SAK_EPP.pdf) - назва з екрану.

12. Полезная схемотехника. статьи № 1-50 / Методы и устройства управления тиристорами. – Режим доступа до ресурсу: http://altay-krylov.ru/poleznaja_shemotehnika/metody_ustrojstva_upr_tiristorami.html – назва з екрану.

13. Школа для электрика / Электрические схемы / Заметки электрика / Электротехнические устройства / Основы электроники / Тиристоры: принцип действия, конструкции, типы и способы включения – Режим доступа до ресурсу: <http://electricalschool.info/main/electroshemy/455-tiristory-princip-dejstvija.html> – назва з екрану.

14. Лакутин Б.В., Обухов С.Г. Силовые преобразователи в электроснабжении: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 144 с. Режим доступа до ресурсу: [https://elprivod.nmu.org.ua/files/converters/Лукутин Силовые%20преобразователи%20в%20Элснабж.pdf](https://elprivod.nmu.org.ua/files/converters/Лукутин%20Силовые%20преобразователи%20в%20Элснабж.pdf) – назва з екрану.

15. Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року. Від 10 липня 2019 р. № 526-р. Київ [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text> – назва з екрану.

16. Реформа освіти та науки. Урядовий портал. [Електронний ресурс] — Режим доступа до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/diyalnist/reformi/rozvitok-lyudskogo-kapitalu/reforma-osviti> – назва з екрану.

17. Іноваційні технології навчання при підготовці кваліфікованих робітників в системі професійно-технічної освіти / О.В Палига, І.А.Притула. [Електронний ресурс].– Запоріжжя: Віпол, 2015. – 21 с. Режим доступа до ресурсу: <http://vpl57.zp.ua/file/IYPNoweV> - назва з екрану.

18. Тарарива Л. Ю. Технологія стартапів у освітньому просторі [Електронний ресурс] – 2015. – № 2. – С. 54 – 56. Режим доступа до ресурсу: <http://dspace.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/654/1/Tarariva.pdf> – назва з екрану.

19. Джобс С. О бизнесе: 250 высказываний человека, изменившего мир. – М.: Альпина Пабlishер, 2012. – 256 с.
20. Застосування засобів інформаційно-комунікаційних технологій з метою підвищення ефективності навчання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/enmtgeovdpu/navcalni-materiali/> - назва з екрану.
21. ДСТУ 3008-2015 Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура і правила оформлення : Чинний від 2015-01-01 — К. : Держстандарт України, 2015. — 37 с.

Лабораторна робота
ДОСЛІДЖЕННЯ ТИРИСТОРА ТА ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА
НАПРУГИ

1. Мета і зміст роботи

Мета. Ознайомлення з фізичними основами роботи тиристорних напівпровідникових елементів, зі структурою й принципом роботи напівпровідникових тиристорів. Вивчити способи управління тиристорами, навчитися визначати їхні основні параметри.

Зміст. В роботі досліджують анодні, анодно-сіткові, сіткові та сітково-анодні характеристики тріода. Визначають параметри тріода в робочій точці за характеристиками. За статичними анодними характеристиками і лінією навантаження будують робочу анодно-сіткову характеристику і порівнюють її з отриманою експериментально. Розраховують робочі параметри $S_{\text{роб}}$ та $\mu_{\text{роб}}$. Вивчають струморозподіл в тріоді в різних режимах, розраховують коефіцієнт струморозподілу. Вивчають струм в колі сітки, коли її потенціал негативний. Визначають сітковий струм з переважаючою іонною компонентою.

Короткі теоретичні відомості. Тиристиори – це багатоперехідні структури, які використовуються в силовій електроніці і мають більше ніж три p - n переходи. Тиристор – це перемикальний НП прилад, який має два стійких стани: *закрито*, коли через нього протікає малий струм, і *відкрито* – коли протікає значний струм.

Перевагами тиристорів над транзисторними ключами є:

- Великий коефіцієнт підсилення за струмом (незначний струм керування управляє великим струмом).
- Значно більші значення струму та напруги.
- Висока надійність та простота керування.

Оснoву тиристора складає пластинка з монокристалу кремнію з областями *p*- і *n*-типу, які чергуються між собою. Залежно від конструктивних особливостей і властивостей тиристори поділяються на діодні (диністори) і тріодні (триністори). Типи тиристорів наведені на рис.1.

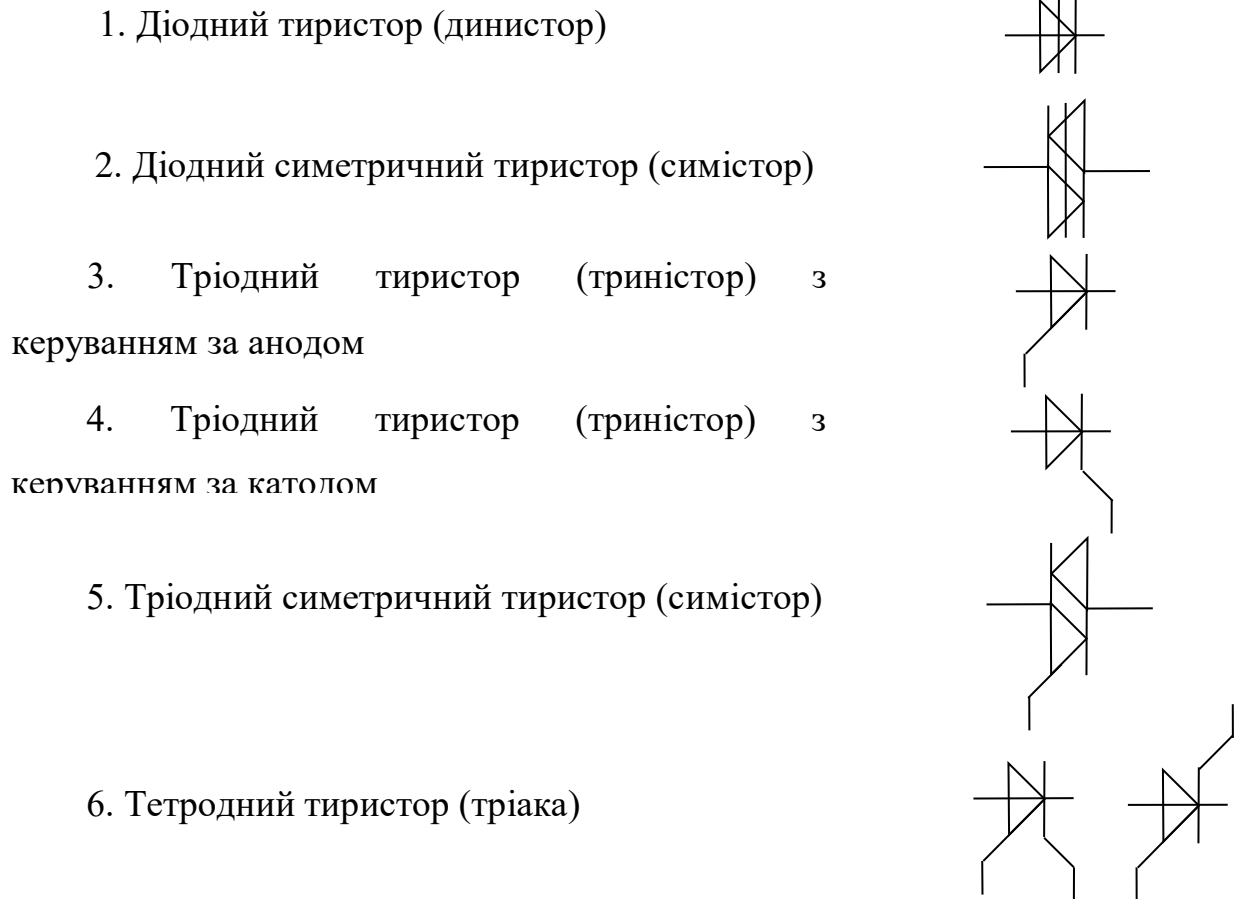


Рис.1. Позначення тиристорів

Оснoву тиристора складає пластинка з монокристалу кремнію з областями *p*- і *n*-типу, які чергуються між собою. Крайні області пластини є основними електродами: **область *p*-типу – анод (А), область *n*-типу – катод (К).**

Анод і катод тиристора мають відводи. Такий тиристор (з двома відводами) називають **диністором** або некерованим перемикальним діодом.

Крім того, відвід у тиристора може бути і від внутрішньої області. Цей відвід називається електродом управління (**керівним електродом**). При наявності відводу від внутрішніх областей, тиристор називається тріодним або **триністором** (керуємим перемикальним діодом).

Крім того, до класу тиристорів відносяться симетричні триністори. Тиристор, що має чотири виводи називається **тріаком**.

Тиристори можуть бути малої потужності ($I_{\text{пр}} \leq 0,3 \text{ A}$), середньої потужності ($0,3 \text{ A} < I_{\text{пр}} < 10 \text{ A}$) і великої потужності ($I_{\text{пр}} > 10 \text{ A}$).

Перевести тиристор у провідний стан можна, підключивши до однієї з його базових областей джерело струму в прямому включенні. Залежно від того база якого емітерного переходу буде керуючою, розрізняють триністори з керуванням по аноду і з керуванням по катоду. На рис.2, показане включення джерела керуючого струму в нижню базу тиристора, а на рис.3 підключення тиристора при різних схемах керування.

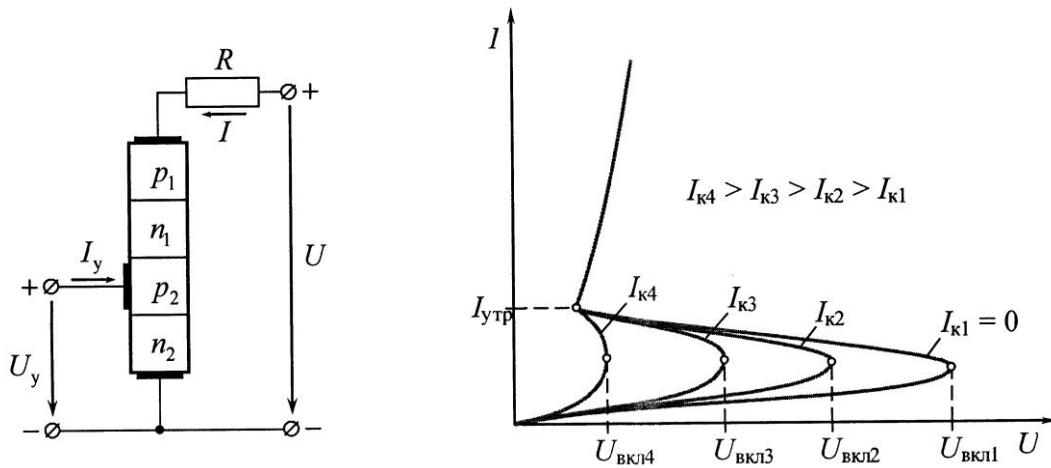


Рис.2. Схема ввімкнення тиристора та його ВАХ

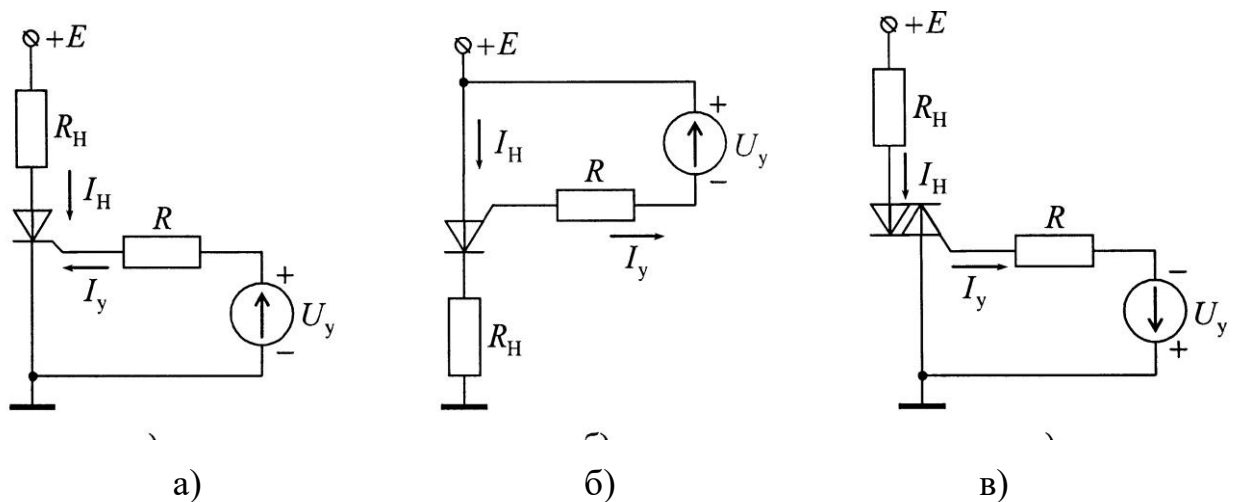


Рис.3. Підключення джерел керування тиристорів

а) – керування по катоду; б) – керування по аноду; в) – керування симістором

Для перемикальних діодів в віртуальних лабораторіях Workbench EWB 5,0 та Multisim 12 можна задати тип тиристора та за допомогою діалогового вікна скорегувати значення наступних параметрів переключаючи елементів:

Saturation current I_s [IS], А – зворотний максимальний струм динистора;

Peak Off-state Current I_{drm} [IDRM], А – зворотний максимальний струм тринистора;

Switching voltage V_s [VS], В – напруга, за якої динистор перемикається у відкритий стан, напруга включення ($U_{вкл}$);

Forward Breakover voltage V_{drm} [VDRM], В – напруга, за якої тринистор перемикається у відкритий стан, напруга включення ($U_{вкл}$);

Peak On-State Voltage V_{tm} [VTM], В – пряме падіння напруги у відкритому стані;

Forward Current at which V_{tm} is measured I_{trn} [ITM], А – максимально допустимий струм у відкритому стані;

Turn-off time T_g [TG], с – час перемикання в закритий стан;

Holding current I_h [IH], А – мінімальний струм у відкритому стані (якщо він менше встановленого, то прилад переходить у закритий стан);

Critical rate of off-state voltage rise dv/dt [DV/DT], В/мкс – гранична швидкість наростання анодної напруги тринистора, при якому він залишається в закритому стані (при більшій швидкості тринистор відкривається);

Zero-bias junction capacitance C_j [CJO], Ф – бар'єрна ємність динистора при нульовій напрузі на переході;

Gate Trigger voltage V_{gt} [VGT], В – напруга на керуючому електроді відкритого тринистора, керуюча напруга включення;

Gate Trigger current I_{gt} [IGT], А – струм керуючого електрода, керуючий струм включення;

Voltage at which I_{gt} is measured V_d [VD], В – напруга на керування.

2. Порядок виконання роботи

1. Запустити програму. Вибрати тиристор. Зібрати схему для дослідження ВАХ тиристора (рис.4). Установити задані параметри елементів схеми.

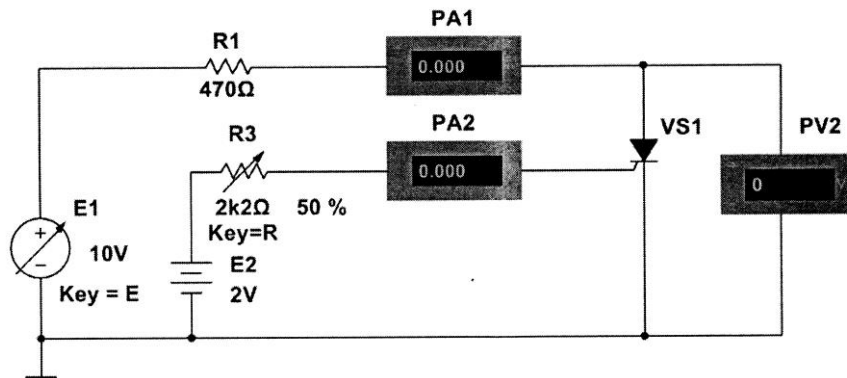


Рис.4. Схема для дослідження характеристик тиристора

2. Ввімкнути схему. Змінюючи напругу джерела живлення $E1$ зняти по точкам зняти сімейство ВАХ тиристора $I_{пр} = f(U_{пр})$ при різних струмах, що протікають через керуючий електрод I_k , відповідно, 0,95 мА, 0,97 мА та 1,0 мА. За приладом PV2 визначити напругу вмикання тиристора $U_{вм}$. Струм керування I_k регулювати за допомогою змінного резистора $R3$. Результати вимірювань записати в табл.1.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень ВАХ тиристора

$I_{k1} = 0,95 \text{ мА}, U_{вм1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E1, \text{ В}$							
$U_{пр}, \text{ В}$							
$I_{пр}, \text{ мА}$							
$I_{k2} = 0,95 \text{ мА}, U_{вм2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E1, \text{ В}$							
$U_{пр}, \text{ В}$							
$I_{пр}, \text{ мА}$							
$I_{k3} = 0,95 \text{ мА}, U_{вм3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}$							
$E1, \text{ В}$							
$U_{пр}, \text{ В}$							
$I_{пр}, \text{ мА}$							

3. За даними табл.1 побудувати сімейство ВАХ тиристора.
4. Зібрати схему для дослідження однофазного однопаівперіодного керованого джерела напруги (рис.5).

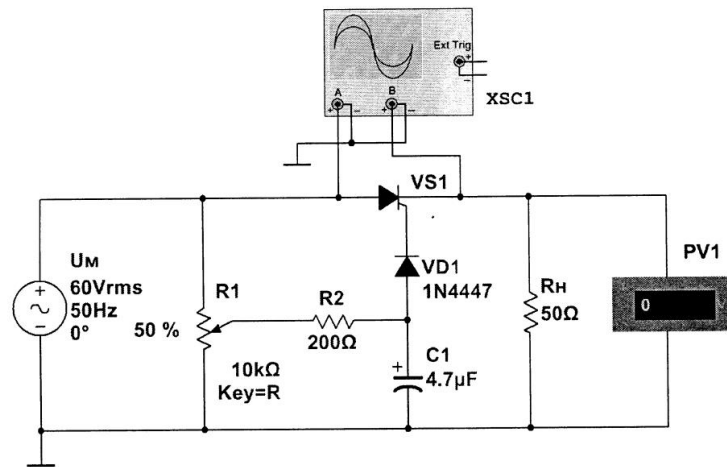


Рис.5. Схема для дослідження однофазного регулятора напруги

5. Установити параметри елементів схеми в відповідності до заданого варіанту (табл.2).

Таблиця 2

Параметри схеми для дослідження

№ варіанту	Напруга $U_{\text{ВМ}}, \text{В}$	Кут відсічки, α , град.	R_2 , Ом	C , мкФ	R_n , Ом
1	40	10	70	5,5	30
2	60	20	90	5,0	40
3	90	30	110	4,5	50
4	100	50	130	4,0	60
5	127	90	150	3,5	70
6	160	110	170	3,0	80
7	200	130	190	2,5	90
8	220	150	210	2,0	100
9	230	160	230	1,5	110
10	240	170	250	1,0	120

6. Включити схему та змінюючи опір резистора фазообертача дослідити зміну випрямленої напруги як функцію величини кута керування тиристором. Кут визначати за допомогою осцилографа (рис.6).

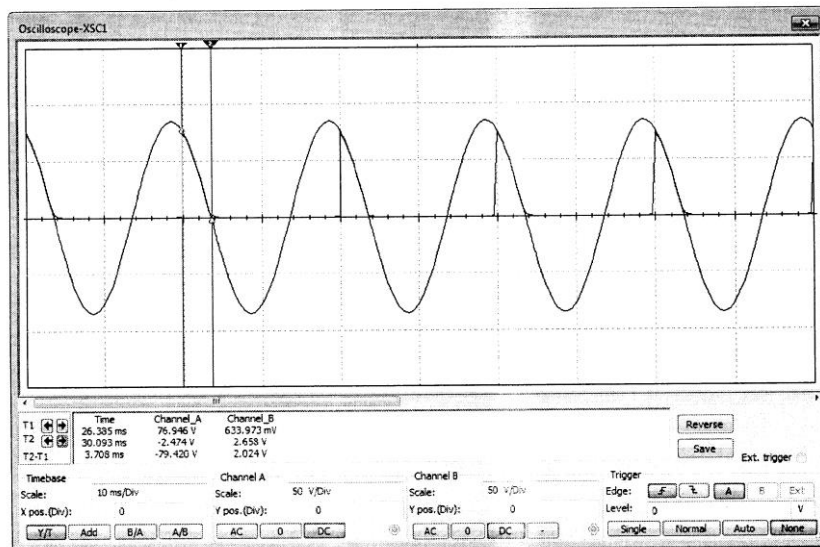


Рис.6. Осцилограми напруг до дослідження однофазного регулятора напруги

7. Зібрати схему трьохфазного регулятора (рис.7). Впевнитися в його працездатності. Скан екрану приведено на рисю 8. Навести осцилограми напруг.

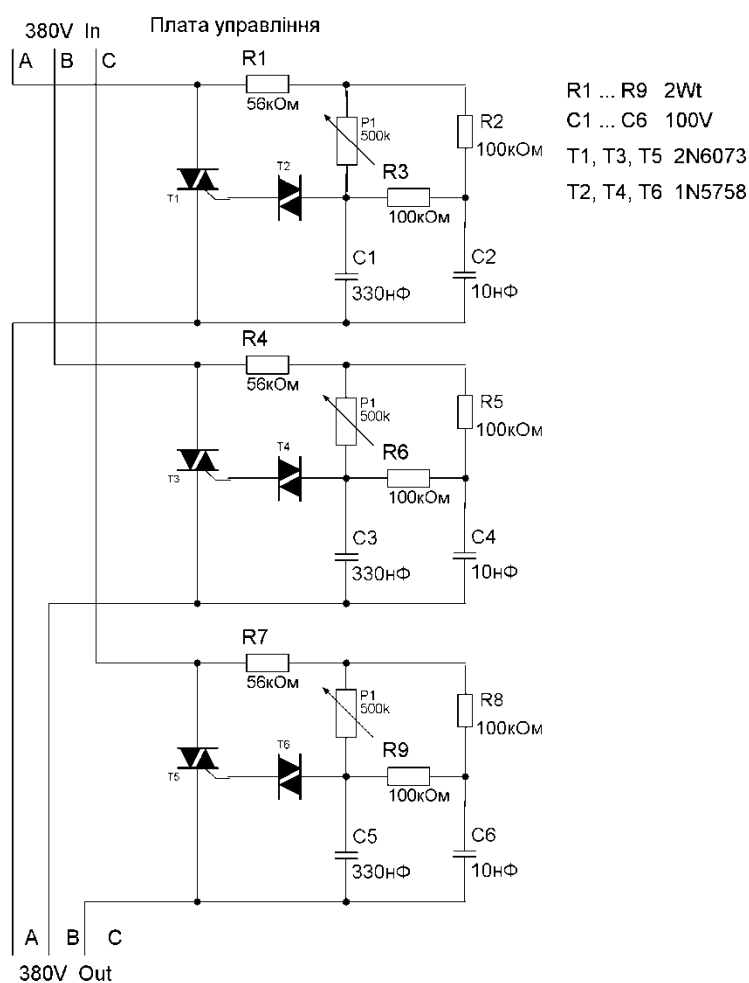


Рис.7. Схема для дослідження трьохфазного регулятора напруги

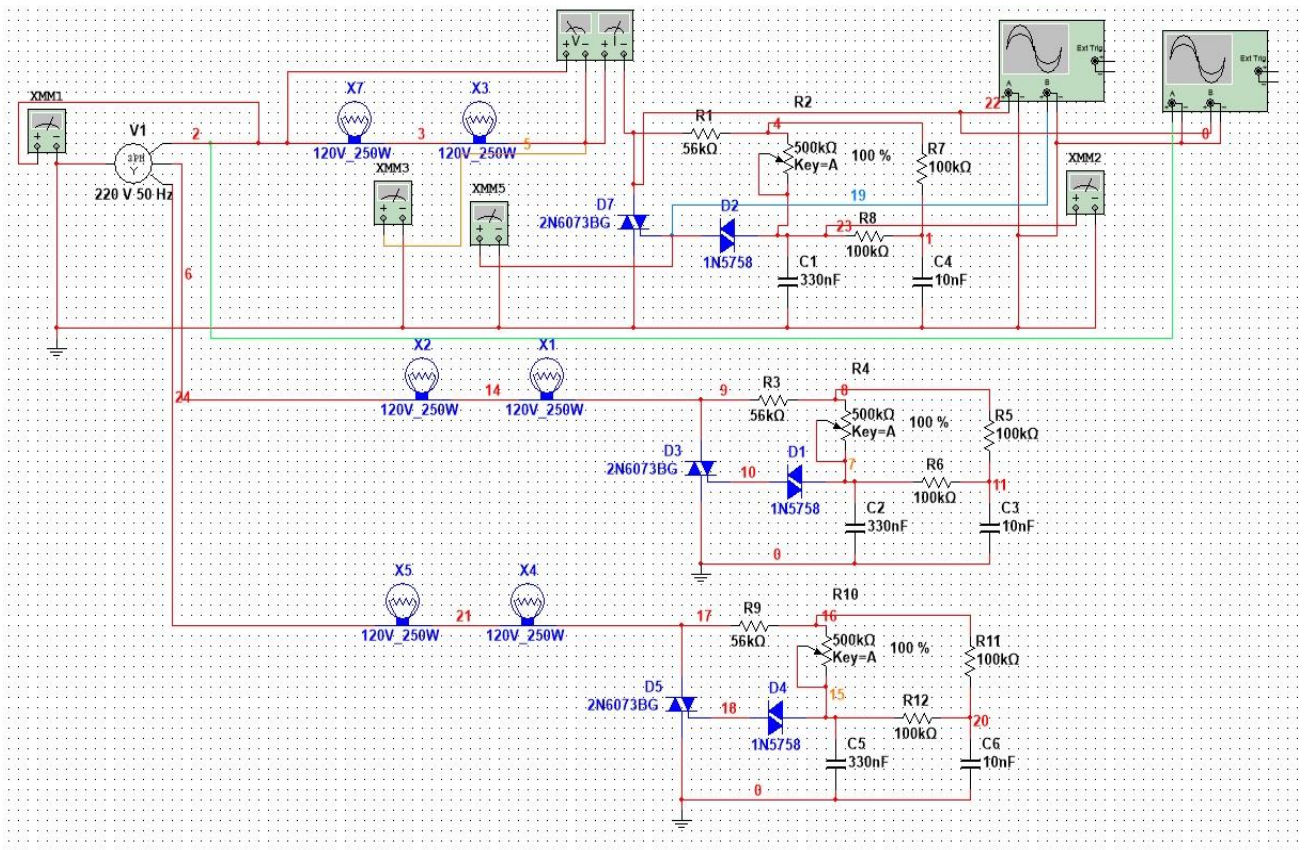


Рис.8. Скан екрану схеми для дослідження

3. Зміст звіту

7. Розділ із зазначенням найменування роботи, номера варіанта, прізвища з ініціалами імені та по батькові виконавця, номер групи і дати виконання роботи. В електронному варіанті файл звіту повинен називатися, наприклад, ЛР ТИР РТ91 Іванов (лабораторна робота тиристори, група, прізвище).
8. Короткі відомості теоретичного плану про досліджуваний елемент та при необхідності розрахункові формули до обробки експериментальних даних.
9. Результати виконання кожного з пунктів завдання, зокрема:
 - схему досліджень з зображенням приладів контролю;
 - епюри напруг на момент, що досліджуються;
 - таблиці з результатами вимірювань;
 - технічні висновки;

- графіки відповідно до завдань, виконані в одних осях координат з обов'язковою постановкою величин, в яких вимірювалися дані.

6. Контрольні питання

1. Пояснити будову і принцип дії тиристора.
2. За якими ознаками класифікуються тиристори? Дати класифікацію.
3. Зобразити вольт-амперну характеристику тиристора.
4. Чому при анодній напрузі від 0 до $U_{\text{ввімк}}$ тиристор замкнений? Якої величини струм протікає при цьому через тиристор?
5. Як можна вимкнути тиристор?
6. Наведіть ВАХ динистора. У чому полягає відмінність динистора від діода?
7. Що таке симістор? Наведіть його ВАХ.
8. Наведіть експериментальну схему для вимірювання ВАХ тиристорів.
9. Які Ви знаєте способи управління відкриттям тиристорів на змінному струмі?
11. Для чого використовуються тиристори?
12. У чому відмінність тиристора і симістора як елементів регулювання змінної напруги?
13. Що таке кут відсічки?
14. Наведіть схему найпростішого регулятора напруги на тиристорі.

Список рекомендованої літератури

1. *Борисов О.В.* Твердотільна електроніка / О.В.Борисов, Ю.І.Якименко – К.: БХВ – НТУУ «КП», 2015. – 484 с. С. 285–307.
2. *Забродин Ю.С.* Промышленная электроника: учебник для вузов /Ю.С.Забродин. – М. : Высш. школа, 1982. – 496 с. С. 98–103.
3. *Кучумов А. И.* Электроника и схемотехника: учебное пособие / А.И.Кучумов. – М.: Гелиос АРВ, 2004. – 336 с. С. 201–203.

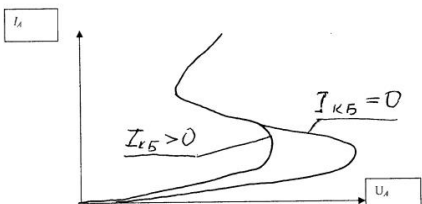
**Тест для визначення підготовки до лабораторної роботи
для дистанційного навчання в системі Moodle**

Тестові питання

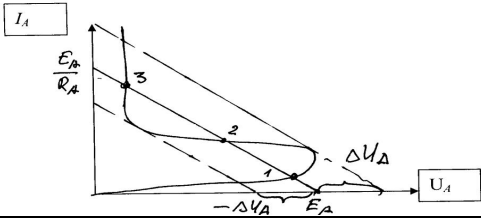
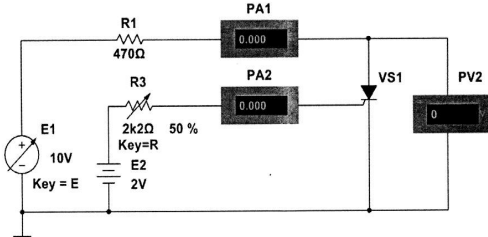
до лабораторної роботи «Дослідження тиристора та тиристорного регулятора напруги»

№	Питання	Відповідь	№
1	До якої категорії напівпровідникових приладів відносяться тиристори?	До багатоперехідної НП структури	1
		До польових пристроїв	2
		До одноперехідної НП структури	3

№	Питання	Відповідь	№
2	Скільки баз має тиристор?	Дві	1
		Одну	2
		Багато	3

№	Питання	Відповідь	№
3	Це вольтамперна характеристика 	Диністора	1
		Тиристора	2
		Тріака	3

№	Питання	Відповідь	№
4	Тиристор з управлінням по катоду має	Два емітерних та 2 базових виводи	1
		1 базовий, 1 емітерний та 1 колекторний	2
		Має виводи від усіх електродів	3

№	Питання	Відповідь	№
5	Що таке пряма лінія на рисунку ВАХ 	Лінія навантаження	1
		Елемент характеристики тиристора	2
		Умовне позначення відношення E_A/R_A	3
№	Питання	Відповідь	№
6	Напруга вмикання $U_{ВМК}$ це	Анодна напруга, за якої тиристор переходить із режиму „закрито” до режиму „відкрито”	1
		Напруга на керувальному електроді	2
		Напруга на емітері тиристора	3
№	Питання	Відповідь	№
7	Для чого може використовувється схема 	Для зняття ВАХ	1
		Для регулювання параметрів	2
		Для зміни струму	3
№	Питання	Відповідь	№
8	Утримуючий струм ($I_{утр. \text{ мін.}}$)	Струм, що протікає через тиристор	1
		Струм, що протікає через навантаження	2
		мінімальний струм, необхідний для утримання транзистора у відкритому стані	3

Жовтим виділенням вказані правильні відповіді.

ВІРТУАЛЬНІ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Піддубний В. О.

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», к.т.н., доцент
VAPoddubny@gmail.com

Іванечко Д.М.

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», магістрант
Denysiv44@gmail.com

В умовах дистанційного навчання виконання лабораторних робіт з технічних дисциплін викликають певні труднощі, тому що виконуються на фізичних, реальних макетах. Ці макети у студента, що сидить за екраном свого персонального комп'ютера, відсутні. Однак для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» складнощі, що при цьому виникають, можна частково зменшити або повністю усунути застосувавши віртуальні лабораторні роботи в дисциплінах пов'язаних з вивченням елементної бази та з розробкою електронних схем, наприклад з дисциплін «Елементна база радіоелектронної апаратури» та «Компонентна база радіоелектронних систем», які вивчаються на другому році навчання на радіотехнічному факультеті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського.

Як відомо для дослідження та проектування електронних схем, моделювання різних складових радіоелектронної апаратури добре зарекомендували себе такі пакети прикладних програм як Pspice, OrCAD, Realise DesignLab, Circuit Market. Найбільше поширення серед віртуальних лабораторій знаходять пакети Matlab, Mathcad, Multisim (Electronics Workbench), LabView та інші. Вони в переважному своєму складі використовуються розробниками радіоелектронної апаратури (РЕА). Однак їх можна з успіхом використовувати в навчальному процесі для створення віртуальних лабораторій, які дозволяють студентам ознайомитися та дослідити різні радіоелектронні компоненти (РЕК) та схеми зібрані на них, навчитися їх досліджувати і таким чином отримувати навички в проектуванні електронних схем на основі сучасних елементів та компонентів, склад яких в умовах технічного прогресу постійно змінюється та вдосконалюється.

Концепція віртуальних лабораторій орієнтується на реалізацію вимог до комп'ютеризації інженерної підготовки, яка все більше охоплює сучасну освіту. Вона відповідає ідеям відкритого і дистанційного навчання та дозволяє, хоча б частково, зменшити гостроту існуючих нині проблем матеріального та технічного забезпечення навчального процесу замінюючи реальну елементну базу РЕА на їх віртуальні моделі [1].

Застосування комп'ютерних технологій, в першу чергу при вивченні матеріалів пов'язаних з елементною базою РЕА, дозволяє більш ефективно донести до студентів знання про сучасний стан їх розвитку, надати їм додаткові компетенції та вміння вибирати необхідні компоненти для проєктування радіoeлектронних систем і тим самим підвищити якість підготовки фахівців в цій галузі.

Відома достатня кількість лабораторних робіт для студентів ВНЗ присвячених дослідженню напівпровідникових структур. Це роботи [2-4], в яких розглядаються вольт-амперні характеристики РЕК, методика дослідження параметрів та принципи побудови схем, що створюються на їх основі. В них висвітлюються теоретичні питання роботи та управління РЕК, наводяться досліджувані характеристики та методика виконання робіт. Однак вони виконуються на фізичних макетах та потребують безпосередньої роботи студента в лабораторії.

Відомі також і віртуальні роботи. Так в [1] приводяться інформація про віртуальний лабораторний комплекс для навчального процесу і наукових досліджень, який складається з реального обладнання і програмної апаратної підтримки (пакет LabView) і, призначений для діагностики електричних двигунів в умовах виробництва. Однак до задач вивчення та розробки радіoeлектронних схем він має опосередковане відношення і не може на пряму бути використаний для підготовки спеціалістів в галузі телекомунікацій та радіотехніки.

В [5] наводиться теоретичний матеріал і методичне забезпечення для виконання лабораторних робіт по дослідженню напівпровідникових приладів (діодів, стабілітронів, біполярних та польових транзисторів, тиристорів то що) та електронних пристроїв (підсилювачів електричних сигналів, генераторів гармонійних коливань та імпульсних сигналів, випрямлячів, згладжувальних фільтрів, стабілізаторів напруги та інше), що побудовані на них. Запропоновані роботи виконуються в програмі Multisim версій 10 та 12. Розглянуті роботи в основному задовольняють навчальній меті. Однак виникла необхідність створення подібних робіт для дистанційного online навчання в умовах кафедри радіотехнічних пристроїв та систем радіотехнічного факультету НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського. Нами розроблені лабораторні роботи, які використовують пакет прикладних програм для віртуальної лабораторії з дослідження електронних схем фірми Multisim National Instruments.

Використання Multisim 12 дозволило розробити віртуальні лабораторні роботи, зокрема лабораторну роботу з досліджень багатоперехідних напівпровідникових структур (тиристорів), які легко засвоюється новачками і дозволяють студентам самостійно без додаткових зусиль здійснювати дослідження різноманітних РЕК та моделювати електронні схеми. Студентам, які виконують лабораторні роботи у даній програмі, працювати з аналоговими і цифровими складовими елементами просто та інтуїтивно зрозуміло без спеціального вивчення пакету прикладних програм.

Віртуальні роботи з успіхом використовуються в програмі дистанційного навчання Moodle (зокрема в <http://iot.kpi.ua/lms/>) в

дисциплінах «Елементна база радіоелектронної апаратури» та «Компонентна база радіоелектронних систем».

Список літератури:

1 Чорний О.П. Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень / Чорний О.П., Родькін Д.Й., Євстіфєєв В.О. / Кременчуцький державний політехнічний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук ПИКАД № 4/2008 – С.7-17 – Режим доступу до ресурсу: <http://www.picad.com.ua/0408/pdf/tech1.pdf> - назва з екрану.

2 Методичні вказівки до виконання дослідницької лабораторної роботи ЕТУ-2 «Тиристорні регулятори змінної напруги». Для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / Упоряд.: С.І.Випанасенко, О.Р.Ковальов, С.В.Дибрін, О.В.Бобров. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015. – 13 с.

3. Барась С.Т., Шеремета О.П. Б24 Лабораторний практикум з дисциплін «Електроживлення» та «Радіоелектронні пристрої» для студентів напрямів підготовки: 6.050901 – «Радіотехніка», 6.050902 – «Радіоелектронні апарати», 6.050903 – «Телекомунікації» – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 84 с..

4. Файловий архів ХНАДУ: Дисципліна Електроніка і мікросхемотехніка / Дзюбенко О.А., Трунова І.С. / файл LR_Thyristor_1.pdf – Режим доступу до ресурсу: <http://files.khadi.kharkov.ua/avtomobilnij-fakultet/avtomobilnoji-elektroniki/itemlist/category/335-mv-do-lab-ae.html> - назва з екрану.

5. Квітка С.О. Електроніка та мікросхемотехніка: посібник для виконання лабораторних і практичних занять / С.О. Квітка, Ю.М. Федюшко, Н.Г. Косуліна, С.О. Мороз; ХНТУСГ. – Х.: ФОП Мезіна В.В., 2017. – 244 с.

Посилання на тези:

Піддубний В.О., Іванечко Д.М. Віртуальні лабораторні роботи в умовах дистанційного навчання/ Розвиток освіти, науки та бізнесу: результати 2020: тези доп. Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 грудня 2020 р. – Дніпро, 2020. Т.2 – С.251-252
<http://www.wayscience.com/konferentsiya-03-04-grudnya-2020/>